

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní – Institut dopravy
Ústav letecké dopravy

Aplikace vícekritériálního rozhodování při výběru
vhodného letadla pro vybrané zákazníky

Application of Multi-criteria Decision Making by the
Aircraft Selecting for Selected Customers

Diplomová práce

Student: Bc. Marek Sassik

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Vladimír Tichavský, CSc.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Sassik**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 40 Letecká doprava
Téma: Aplikace vícekritériálního rozhodování při výběru vhodného letadla pro
vybrané zákazníky
Application of Multi-criteria Decision Making by the Aircraft Selecting
for Selected Customers

Zásady pro vypracování:

1. Charakteristiky ultralehkého vírníku, ultralehkého vrtulníku a ultralehkého letounu
2. Zpracování ekonomických a technických dat
3. Vícekritériální rozhodování při výběru vhodného letadla daným zákazníkům
4. Vyhodnocení jednotlivých letadel
5. Zpracování metodiky stanovení přímých provozních nákladů vírníku

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Fotr, J., Švecová, L. a kol.: Manažerské rozhodování : postupy, metody a nástroje . Praha: Ekopress. Praha. 2010. 474 s. ISBN: 978-80-86929-59-0.
2. Fiala, P., Jablonský, J., Maňas, M.: Vícekritériální rozhodování. Praha: Vysoká škola ekonomická . 1994. 316 s. ISBN: 80-7079-748-7
3. Žihla, Z. a kol.: Provozování podniků letecké dopravy a letišť. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno. 2010. 301 s. ISBN: 978-80-7204-677-5

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vladimír Tichavský, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014


doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.



.....

V Ostravě dne 14. května 2014

Bc. Marek Sassik

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadu, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, же Высoкá школа ба́ньскá – Техни́кá универзита Ostrava (дále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было сjeднáно, же с VŠB-TUO, в пpипаде́ зájму з její strany, узавpу лицен́ннi сmlouvu s oppávněním užít dílo в rozsahu § 12 odst. 4 авторскého zákона.
- было сjeднáно, же užít své dílo – дипломovou пpáci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oppávněна в takovém пpипаде́ ode mne požadovat пpиме́ренý пpиспёвек на úhradu nákladu, které byly VŠB-TUO на vytvoření díla vynalóжены (а́ž до jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, же оdevздáním své пpáce souhlasím se зvepеjнěním své пpáce podle zákона ч. 111/1998 Sb., о высoкých шко́лах а о змeнe а доплнeнi дaлшiх зaкoнóв (закон о высoкých шко́лах), вe знeнiи пoздéжшiх пpeдпи́су, без оhлeду на вы́слeдeк její обhаjобы.

V Ostravě dne 14. května 2014



.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Marek Sassik

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Kobeřice, Příkopy 675, 747 27

Anotace

SASSIK, M. Vícekriteriální rozhodování při výběru vhodného letounu pro vybrané zákazníky: diplomová práce. Ostrava – VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2014. Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Tichavský, CSc.

Obsah této diplomové práce je zaměřen na tři letadla z kategorie UL. Jedná se o letadla typu vírník, vrtulník a letoun. Úvodní kapitola seznamuje čtenáře s obecnými charakteristikami těchto tří letadel. Následující kapitoly pojednávají o ekonomických a technických aspektech jednotlivých letadel, vícekriteriálním rozhodování při výběru vhodného letadla daným zákazníkům a vyhodnocení jednotlivých letadel. Poslední dvě kapitoly jsou zaměřeny na zpracování metodiky stanovení přímých provozních nákladů vírníku a na výpočet základních výkonových charakteristik vírníku.

Klíčová slova: vírník, vrtulník, letoun, letadlo, vícekriteriální rozhodování

Annotation

SASSIK, M. Multi-criteria decision making in selecting the appropriate aircraft for selected customers: thesis. Ostrava – VSB – Technical university of Ostrava, Faculty of mechanical engineering, Institute of transport, 2014. Thesis head: doc. Ing. Vladimír Tichavský, CSc.

The content of this master thesis is focusing on the three categories of ultra light aircraft – gyroplane, helicopter, airplane. Introductory chapter introduce readers to the general characteristics of these three planes. Subsequent chapters deal with economic and technical aspects of each aircraft, multi-criteria decision making in selecting the appropriate aircraft by the customer and evaluation of individual aircraft. The last two chapters focus on processing methodology for establishing direct operating costs gyrocopter and the calculation of basic performance characteristics of the gyroplane.

Keywords: gyropláne, helicopter, airplane, aircraft, multi-criteria decision making

Poděkování

Především chci poděkovat panu doc. Ing. Vladimíru Tichavskému, CSc. za vedení této diplomové práce, za cenné rady a připomínky a za ochotu spolupráce. Můj dík patří také rodině, která mě podpořila během studia ve všech směrech. Také bych chtěl poděkovat respondentům za ochotu a spolupráci.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	9
ÚVOD.....	10
1 CHARAKTERISTIKY ULTRALEHKÉHO VÍRNÍKU, ULTRALEHKÉHO VRTULNÍKU A ULTRALEHKÉHO LETOUNU	11
1.1 Ultralehký vírník	11
1.1.1 Princip činnosti vírníku.....	12
1.1.2 Letové vlastnosti	12
1.1.3 Bezpečnost	13
1.1.4 Pilotní výcvik.....	14
1.2 Ultralehký vrtulník	14
1.2.1 Princip činnosti vrtulníku.....	15
1.2.2 Letové vlastnosti	16
1.2.3 Bezpečnost	16
1.2.4 Pilotní výcvik.....	17
1.3 Ultralehký letoun.....	17
1.3.1 Princip činnosti letounu	18
1.3.2 Letové vlastnosti	18
1.3.3 Bezpečnost	19
1.3.4 Pilotní výcvik.....	19
2 ZPRACOVÁNÍ EKONOMICKÝCH A TECHNICKÝCH DAT	20
2.1 Technické a výkonové parametry	20
2.1.1 ZEN 1.....	20
2.1.2 CH-7 Kompress	21
2.1.3 TL-2000 STING	22
2.2 Přímé provozní náklady	23
2.2.1 Variabilní náklady.....	23
2.2.1.1 Výdaje na palivo.....	23
2.2.1.2 Výdaje na olej.....	24
2.2.1.3 Výdaje na údržbu.....	24
2.2.2 Fixní náklady	26
2.2.2.1 Pojištění	27
2.3 Nepřímé provozní náklady	27

2.3.1	Hangárování.....	27
2.4	Pořizovací náklady	28
2.5	Náklady na výcvik.....	29
2.5.1	ZEN 1.....	30
2.5.2	CH-7 Kompress	30
2.5.3	TL-2000 STING	30
3	VÍCEKRITERIÁLNÍ ROZHODOVÁNÍ PŘI VÝBĚRU VHODNÉHO LETADLA DANÝM ZÁKAZNÍKŮM	31
3.1	Tvorba dotazníku	31
3.2	Vymezení kritérií	32
3.3	Stanovení vah kritérií	35
3.4	Metody vícekritériálního hodnocení variant	36
3.4.1	Metoda váženého pořadí.....	36
3.4.2	Metoda založena na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení	37
3.5	Vyhodnocení vícekritériálního rozhodování.....	38
3.5.1	Porovnání výsledků metody váženého pořadí a metody založené na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení.....	38
3.5.2	Metoda založena na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení	39
3.5.2.1	Celkové ohodnocení variant respondenty	40
3.5.2.2	Váhy stanovené respondenty	42
3.6	Vícekritériální rozhodování prostřednictvím internetu.....	43
4	VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH LETADEL	44
4.1	ZEN 1	44
4.2	CH-7 Kompress.....	45
4.3	TL-2000 STING.....	47
5	ZPRACOVÁNÍ METODIKY STANOVENÍ PŘÍMÝCH PROVOZNÍCH NÁKLADŮ VÍRNÍKU	47
6	VÝPOČET ZÁKLADNÍCH VÝKONOVÝCH CHARAKTERISTIK VÍRNÍKU 51	
6.1	Význam základních výkonových parametrů	51
6.2	Přibližný výpočet základních parametrů vírníku	51
7	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	54
	SEZNAM PŘÍLOH.....	56

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Anglický výraz	Český výraz
HP	Horse Power	Koňská síla
LAA		Letecká amatérská asociace
UL	Ultralight	Ultra lehký
DPH		Daň z přidané hodnoty
V _r	Rotation speed	Rychlost rotace
VPD	Runway	Vzletová a přistávací dráha
ULV		Ultralehký vírník
ULH		Ultralehký vrtulník
ULL		Ultralehký letoun
DOV		Dílčí ohodnocení variant
SLZ		Sportovní létající zařízení
VPP AVN		Všeobecné pojistné podmínky pro pojištění letectví
MTOW	Maximum Take-Off Weight	Maximální vzletová hmotnost
VUL		Vodorovný ustálený let

ÚVOD

Škála letadel v kategorii UL je velice pestrá. Lidé mohou létat jak s vrtulníkem, vírníkem, letounem tak s dalšími UL letadly. Jak se ale rozhodnout, se kterým letadlem budete křížovat nebe? V mé diplomové práci se zaměřím na již zmíněné trio z kategorie UL. Jedná se o zcela odlišné typy letadel, z nichž každé má své silné ale také slabé stránky. Stejně tak odlišní jsou jejich budoucí uživatelé nebo majitelé, kteří mají zcela odlišné priority. V této práci tedy uvedu metodiku využívající vícekriteriální rozhodování při výběru daného letadla. Vícekriteriální rozhodování aplikuji na určitý počet respondentů. Výsledkem bude průměrné preferování jednotlivých typů letadel.

Cíle práce

Cílem této práce je zpracovat ekonomické a technické parametry jednotlivých letadel a následně vypracovat metodiku vícekriteriálního rozhodování, pomocí níž lze vybrat vhodné letadlo pro vybrané zákazníky. Dalším z cílů je vyhodnotit jednotlivá letadla. Posledním z cílů je zpracovat metodiku stanovující přímé provozní náklady vírníku.

1 CHARAKTERISTIKY ULTRALEHKÉHO VÍRNÍKU, ULTRALEHKÉHO VRTULNÍKU A ULTRALEHKÉHO LETOUNU

UL letadla jsou taková, která podle předpisů LAAČR nepřevyšují maximální vzletovou hmotnost 450 kg. V České republice jsou tyto letadla zatím určeny výhradně ke sportovnímu a rekreačnímu létání. V jiných zemích jsou povoleny vyšší vzletové hmotnosti a nejsou určeny výhradně pro sportovní létání. Využívají se například v zemědělství k provádění postřiků. UL letadla nacházejí také uplatnění v záchranných, armádních či policejních složkách.

1.1 Ultralehký vírník

Ultralehký vírník spadá do zákonem vymezené kategorie podle vyhlášky 108/1997 Sb. § 24, odstavec 7 [1], kde je definován takto: „Motorový vírník je letadlo s rotujícími nosnými plochami uváděnými do pohybu autorotací vznikající dopředným pohybem vyvíjeným motorickou silou, která není přímo přenášena na rotující nosné plochy, které je konstruováno maximálně pro dvě osoby, s maximální vzletovou hmotností 450 kg u dvoumístného a 300 kg u jednomístného. Tyto parametry se přiměřeně vztahují i na bezmotorový vírník.“

Vírník, který jsem si zvolil pro tuto diplomovou práci je stroj polské výroby ZEN 1 společnosti Aviation Artur Trendak, viz. obrázek 1.1.



Obr. 1.1 ZEN 1

ZEN 1 je dvoumístný vírník, jehož posádka sedí vedle sebe. Řízení je zdvojené, pilotovat tak může vlevo i vpravo sedící osoba. Jeho pohonnou jednotkou je Rotax 912 RST s výkonem 120 HP. Motor roztáčí třílistou tlačnou vrtuli vyrobenou z kompozitních materiálů. Vztlak zajišťuje dvoulistý rotor vyrobený z hliníku. Podvozek vírníku ZEN 1 je tříkolový.

Zen 1 je navržen tak, aby snesl větší zátěž než je definovaná pro ultralehké vírníky. Kabina je řešena tak, aby poskytla dostatek prostoru a pohodlí pasažérům, a aby zajistila jistou míru pasivní bezpečnosti.

Konstrukce kabiny je dokonce zachována u tří místného typu ZEN 1 XL, kde je pouze zadní přepážka posunuta o 20 cm dozadu.

Dalším typem je ZEN 1 Agro, který je vybaven postřikovým zařízením. Toto postřikové zařízení může být instalováno jak na ZEN 1 XL tak i na ZEN 1. Jedinou podmínkou je, aby pohonnou jednotkou byl Rotax 912 RST, který poskytne dostatečný výkon pro práci.

Při konstrukci kabiny byl kladen velký důraz na výhled z kabiny. Prosklená není pouze přední strana a postranní dveře, ale také prostor nad hlavami posádky a taktéž pod jejich nohami.

1.1.1 Princip činnosti vírníku

Vírník je letoun specifický rotujícími nosnými plochami. Dopředný pohyb vírníku dává motorem poháněná vrtule, která je takřka vždy provedena jako tlačná. Většina vírníků je vybavena takzvaným prerotátorem, který umožňuje pomoci motoru roztočit rotor na určité otáčky, čímž se docílí zkrácení potřebné vzletové dráhy. Prerotátor tedy slouží pouze k roztočení rotoru na zemi, po dosažení potřebných otáček se vypíná. Následný pohon rotoru zajišťují aerodynamické síly vznikající při dopředném pohybu. Po dosažení určitých otáček rotor vyvine dostatečný vztlak a vírník vzlétne.

1.1.2 Letové vlastnosti

Vírník je velice jednoduchý stroj. K jeho řízení je využíváno pouze změny polohy tahu rotoru, čehož se docílí jednoduchým naklápěním rotorové hlavy, a směrových kormidel.

Další výhoda vírníku spočívá v tom, že disponuje širokým spektrem provozních rychlostí. Tak např. vírník ZEN 1 může letět rychlostí pouhých 30 km/h a až maximálně 170 km/h. Lze také provádět velmi krátkodobý let téměř na místě, a to v případě provádění ostré zatáčky, při níž je úhlová rychlost vírníku dostatečně vysoká, aby byl rotor v potřebných otáčkách. Při letu je velice důležité, aby se pilot nedostal dlouhodobě pod hranici násobku 1 g, což odpovídá přechodu z vodorovného letu do klesání. Při běžném letu se pilot dostává běžně do krátkodobých přetížení, se kterými si vírník dokáže snadno poradit.

Obrovskou výhodou rotujícího křídla je malá citlivost na vzdušné proudy. Vírník mnohem lépe snáší působení termiky. Další výhodou vírníku je gyroskopický efekt vytvářený rotorem, který napomáhá k stabilizaci vírníku.

Vírník má stejné ovládací prvky jako letoun, jen se jinak používají.

1.1.3 Bezpečnost

Vírníky vzbuzují v lidech určitou míru nedůvěřivosti. Je pravdou, že většina lidí ani netuší co vlastně vírník je, a když zjistí, na jakém principu létá, tedy že nosný rotor je poháněn pouze prouděním vzduchu, nikoliv mechanicky (říkáme, že autorotuje), k nedůvěřivosti se ještě přidá strach. Všechny tyto obavy jsou ale naprosto zbytečné. Právě zmiňovaná autorotace dělá z vírníku velice bezpečný stroj a nebylo by chybou tvrdit, že právě v případě vírníku se jedná o jedno z nejbezpečnějších letadel. Tuto skutečnost lze demonstrovat na příkladu vyhlídkového letu, během kterého vynechá motor. Pokud bychom situaci ještě zkomplikovali tím, že pilot dostane záchvat či infarkt, a v pilotní kabině zůstane při vědomí pouze osoba nemající žádné zkušenosti s létáním, šance na přežití se výrazně snižují. Ovšem záleží, v jakém stroji sedíte. Pokud letíte v letounu nebo vrtulníku, bylo by nouzové přistání v takovéto situaci pro „nepilota“ takřka neproveditelné. Pokud by jste ovšem v takové situaci seděli ve vírníku, vaše šance na přežití jsou výrazně vyšší. Na rozdíl od vrtulníku nemusíte po vynechání motoru ihned zasahovat do řízení. Rotor vírníku je totiž neustále v autorotaci, je tedy jedno, zda je motor v chodu či nikoliv, chová se pořád stejně. Vírník by tedy sklesal bez zásahu pilota a sám třeba i tvrdě přistál. Pravděpodobně by při tom došlo k narušení konstrukce vírníku, ale samotná posádka by měla velkou šanci na přežití. Velkým negativem vírníku je jeho klouzavost, která je u ZEN 1 pouze 1:3. Toto negativum částečně kompenzuje nízká náročnost na plochu pro nouzové přistání. ZEN 1 dokáže přistát na dráze dlouhé 0-5 m.

V souvislosti s bezpečností létání s vírníkem je nutno si uvědomit jednu podstatnou skutečnost v porovnání s letounem.

U letounů je jedním z nejnebezpečnějších režimů letu (který většinou končí tragicky) let s nedostatečně velkou rychlostí (menší než je tzv. rychlost, které říkáme rychlost pádová). Při snížení rychlosti pod tuto hranici dochází k prudkému poklesu vztlaku a to většinou ne stejnému u obou křídel, což vede k tomu, že letoun začne prudce klesat, naklánět se a přechází do klesavé spirály (vývrtky). Za této situace se letoun stává neřiditelným a vybrání vývrtky vyžaduje nacvičenou techniku pilotáže a dostatečné převýšení nad terénem.

U vírníku nejsou nízké rychlosti nebezpečné, pokud pilot nepřipustí výrazné snížení otáček rotoru. Ale co je u vírníku nebezpečné jsou lety s velkou dopřednou rychlostí, ke které dochází při prudkém klesání. Při velké dopředné rychlosti se začnou projevovat vibrace listů rotoru a samovolný náklon vírníku na stranu listu, u kterého se od rychlosti otáčení rychlost letu odčítá. U takového listu dochází k tomu, že úhel náběhu se nejdříve přiblíží ke kritickému úhlu náběhu profilu listu rotoru a následně dojde k jeho překročení. To vede ke vzniku již zmiňovaných vibrací, poklesu vztlaku a náklonu rotoru. V takovém případě situace vyžaduje snížit výkon motoru a zmírnit úhel klesání vírníku.

Rovněž jsou pro vírník nepřipustné takové manévry, při kterých vznikají záporné násobky přetížení. K těm může dojít např. při prudkém přechodu z vodorovného letu do klesání, nebo při vlétnutí do záporného poryvu, kdy se vírník setká s proudem vzduchu, proudícím shora dolů.

1.1.4 Pilotní výcvik

Aby člověk mohl pilotovat ultralehký vírník, musí získat patřičnou kvalifikaci. Podle předpisu UV3 vydaného LAA musí budoucí pilot projít teoretickou přípravou, jejíž celkový rozsah je 45 hodin a praktickým výcvikem skládajícím se celkem ze 127 letů v trvání 20 hodin.

1.2 Ultralehký vrtulník

Ultralehký vrtulník spadá do zákonem vymezené kategorie podle vyhlášky 108/1997 Sb. § 24, odstavec 8 [2], kde je definován takto „Ultralehký vrtulník je letadlo

s poháněnými rotujícími nosnými plochami, které je konstruováno maximálně pro 2 osoby, s maximální vzletovou hmotností 450 kg u dvoumístného a 300 kg u jednomístného.“

Vrtulník, který jsem si zvolil pro tuto diplomovou práci je stroj italské výroby CH-7 Kompress od společnosti Ch7 Helisport Helicopters, viz. obrázek 1.2.



Obr. 1.2 CH-7 Kompress

CH-7 Kompress je dvoumístný vrtulník, jehož posádka sedí za sebou. Způsob posedu, který může ubírat na komfortu letu, značně přispívá k výhledu z pilotní kabiny (pilot stejně dobře vidí jak na pravou tak na levou stranu). Řízení je umožněno pouze pilotovi sedícímu vpředu. Jeho pohonnou jednotkou je Rotax 914 UL s výkonem 115 HP. Motor přes převodovku roztáčí dvoulistý rotor vytvářející vztlak a zároveň pohání dvoulistou ocasní vrtulí, díky které se vrtulník dokáže otáčet kolem své svislé osy. CH-7 Kompress je vybaven lyžinovým podvozkem.

1.2.1 Princip činnosti vrtulníku

Vrtulník disponuje nosným rotorem, na němž vzniká aerodynamický vztlak. Na rozdíl od vírníku je tento rotor poháněn mechanicky motorem, a aby mohl vrtulník provést horizontální let, musí rotor vyvinout nejen vztlak odpovídající tíze vrtulníku, ale i potřebný tah. Vrtulník je schopen nejen horizontálního letu ale také letu vertikálního a visení. Díky tomu, že je nosný rotor poháněn motorem, vzniká krouticí moment, který je kompenzován vertikální vrtulí umístěnou na ocasní části. Pomocí tohoto ocasního rotoru je vrtulník schopen se otáčet kolem své vertikální osy. Kompenzovat krouticí moment lze dalšími

dvěma způsoby a to pomocí technologie NOTAR (No Tail Rotor) nebo použitím druhého horizontálního rotoru otáčejícího se v opačném směru.

1.2.2 Letové vlastnosti

Řízení vrtulníku je ze všech letadel nejsložitější. Je to způsobeno tím, že nosný rotor je poháněn motorem, při čemž vzniká krouticí moment, který je vyrovnáván vrtulí na ocasní části. U vrtulníku se tedy vyskytují tyto řídicí kanály

- kolektiv – pomocí kolektivu se zvyšuje nebo snižuje tah rotoru, vrtulník tak může stoupat nebo klesat
- cyklické řízení – slouží k nastavení rotoru pro let do jakéhokoliv směru, vrtulník tak může letět dopředu, couvat nebo bočit
- nožní řízení – slouží k ovládání ocasní vrtule, vrtulník se tak může otáčet kolem své svislé osy
- přípušť motoru – pokud vrtulník není vybavený regulátorem

Proud vzduchu ofukující rotor vrtulníku může působit ve dvou směrech, svisle nebo šikmo. Rotor je svisle ofukován, pokud vrtulník visí ve vzduchu. Pokud vrtulník vykonává dopředný pohyb, rotor je ofukován šikmo. Při rychlosti kolem 40 - 50 km/h přechází rotor ze svislého obtékání do obtékání šikmého. Rotor může být ofukován ještě třemi dalšími způsoby, a to kolmo na osu otáčení rotoru, šikmo zespodu a svisle zespodu. [3]

1.2.3 Bezpečnost

CH-7 Kompress je kvalitní ultralehký vrtulník, vybavený spolehlivým motorem Rotax 914 UL. Je ale potřeba myslet i na to, že i sebespolehlivější motor může selhat. Proto má CH-7 Kompress výrobcem definovanou bezpečnostní obálku, která popisuje závislost bezpečné výšky letu na rychlosti v případě vysazení motoru. Pokud tedy dojde k onomu vysazení motoru, hlavní rotor se může dostat do autorotace. Při vysazení motoru se uvolní volnoběžka, což má za následek odpojení hlavního rotoru. V případě vysazení motoru je důležité, aby pilot velmi rychle snížil kolektiv, což je otázka pár vteřin. Pilot musí být velice zkušený, aby tento úkon provedl včas. Pokud zareaguje dostatečně rychle, z vrtulníku se v podstatě stává vírník neboli autogyro, které je definováno jako kluzák

s rotující nosnou plochou. Při udržování dostatečné dopředné rychlosti je možno sklesat s klouzavostí cca 1:8,7. Tato klouzavost je poměrně nízká, ale stejně tak jako vírník, má vrtulník velmi nízké nároky na plochu pro nouzové přistání. CH-7 Kompress je vybaven analogickým ukazatelem otáček rotoru, díky němuž je pilot schopen udržovat otáčky v optimálních hodnotách. Jednou z nevýhod CH-7 Kompress je poměrně malá kapacita palivové nádrže, která je pouhých 40 l. Tento nedostatek ovšem odstraňují letové vlastnosti vrtulníku. Během letu je možné přistát poblíž jakékoliv benzínové pumpy a palivo doplnit. Motory Rotax 914 UL potřebují ke svému chodu klasický benzín Natural 95. Velkým rizikem jsou zhoršené meteorologické podmínky během letu, v takovém případě je nejlepší zpomalit a vyhledat místo pro případné nouzové přistání. Z hlediska konstrukce a únosnosti je CH-7 Kompress lehce předimenzovaný, pokud uvažujeme maximální vzletovou hmotnost, která je v České republice stanovena na 450 kg. V jiných zemích, kde je podle platné legislativy povolena vyšší maximální vzletová hmotnost, může být tento parametr navýšen až o 50 kg, tedy na výsledných 500 kg. [4]

1.2.4 Pilotní výcvik

Pro pilotáž ultralehkého vrtulníku je potřebná patřičná kvalifikace. Podle předpisu UH3 vydaného LAA musí budoucí pilot projít teoretickou přípravou, jejíž celkový rozsah je 45 hodin a praktickým výcvikem skládajícím se celkem ze 105 letů v trvání 34:20 hodin.

1.3 Ultralehký letoun

Ultralehký letoun spadá do zákonem vymezené kategorie podle vyhlášky 108/1997 Sb. § 24, odstavec 5 [5], kde je definován takto „Ultralehký letoun je letoun, který je konstruován maximálně pro dvě osoby, řízený buď přesouváním těžiště pilota, nebo aerodynamickými prostředky, jehož pádová rychlost nepřevyšuje 65 km/h, jehož maximální vzletová hmotnost je 450 kg.“

Letoun, který jsem si zvolil pro tuto diplomovou práci je tuzemský TL-2000 STING od společnosti TL Ultralight, viz. obrázek 1.3.



Obr. 1.3 TL-2000 STING

TL-2000 STING je dvoumístný dolnoplošník, jehož posádka sedí vedle sebe. Řízení je zdvojené, pilotovat tak může vlevo i vpravo sedící osoba. Jeho pohonnou jednotkou je Rotax 912 UL s výkonem 80 HP. Motor roztáčí třílistou tažnou vrtuli. Podvozek letounu TL-2000 STING je tříkolový.

1.3.1 Princip činnosti letounu

Letoun jako jediný z uvedené trojice letadel má statická pevná křídla. Dopředný pohyb letounu dává motorem poháněná vrtule, která je převážně tažného charakteru. Při dosažení rychlosti V_T vyvinou nosné plochy vztlak a letoun začne stoupat.

1.3.2 Letové vlastnosti

Ke svému řízení využívá letoun směrové a výškové kormidlo na ocasních plochách a křídélka na plochách nosných.

- výšková kormidla – již z názvu vyplývá, že tato kormidla slouží ke změně výšky, tedy ke stoupání či klesání. Výškové kormidla se nacházejí na vodorovných ocasních plochách. Ovládají se přitažením a potlačením kniplu nebo beranu.
- směrové kormidlo – slouží k bočení letadla. Směrové kormidlo se nachází na svislé ocasní ploše. Ovládá se pomocí pedálů.

- křídélka – slouží k příčnému náklonu letounu. Na každém křídle se nachází jedno křídélko. Obě křídélka se pohybují protisměrně, pokud jedna strana směřuje nahoru, pak druhá strana směřuje dolů. Ovládají se otočením beranů nebo vychýlením kniplu.

1.3.3 Bezpečnost

Letoun při vysazení motoru má na rozdíl od vírníku a vrtulníku výhodu, a to v jeho klouzavosti. TL-2000 STING má klouzavost 12:1. Při vysazení motoru je letoun schopen doklouzat poměrně daleko, má tedy širší rádius při hledání vhodné plochy pro nouzové přistání. Nevýhodou letounu jsou jeho vysoké nároky na plochu pro nouzové přistání, která musí být dostatečně dlouhá a bez větších nerovností.

1.3.4 Pilotní výcvik

Ultralehké letadlo může pilotovat osoba, která vlastní patřičnou kvalifikaci. Podle předpisu UL3 vydaného LAA musí budoucí pilot projít teoretickou přípravou, jejíž celkový rozsah je 45 hodin a praktickým výcvikem skládajícím se celkem ze 112 letů v trvání 20 hodin.

2 ZPRACOVÁNÍ EKONOMICKÝCH A TECHNICKÝCH DAT

Tato kapitola obsahuje ekonomické a technické údaje letadel ZEN 1, CH-7 Kompress a TL-2000 STING.

2.1 Technické a výkonové parametry

V této části jsou v tabulkách uvedeny základní technické a výkonové parametry jednotlivých letadel.

2.1.1 ZEN 1

V tabulce 2.1 jsou uvedeny základní technické parametry. Základní výkonové parametry vlníku ZEN 1 jsou uvedeny v tabulce 2.2.

Technické parametry

	ZEN 1
Šířka kabiny	1,25 m
Celková šířka	2,2 m
Celková délka	8,4 m
Výška	2,8 m
Prázdná hmotnost	285 kg
Max. užitečná hmotnost	165 / 240 kg
Max. vzletová hmotnost (1)	450 / 525 kg
Motor	Rotax 912T ULT
Maximální výkon	122 / 135 hp
Sání	2x Karburátor + Turbo
Kapacita nádrží	85 l
Vrtule	DUC FC Windspoon (tlačná)
Průměr vrtule	1,727 m
Rotor	Aircopter aluminium
Průměr rotoru	8,4 / 8,6 / 8,8 m

Tab. 2.1 Technické parametry vlníku ZEN 1

(1) Závisí na předpisech daných státem. Maximální hmotnost je doporučena výrobcem.

Výkonové parametry

	ZEN 1
Klouzavost	3:1
Minimální rychlost	30 km/h
Cestovní rychlost (75 %)	140 km/h
Nepřekročitelná rychlost V_{NE}	210 km/h
Rychlost stoupání	6 m/s
Délka startu	50 m
Délka dojezdu po přistání	0-5 m
Max. operační výška	5500 m
Teoretický dolet (85 l)	580 km

Tab. 2.2 Výkonové parametry vrtulníku ZEN 1

2.1.2 CH-7 Kompress

V tabulce 2.3 jsou uvedeny základní technické parametry. V tabulce 2.4 jsou pak uvedeny základní výkonové parametry vrtulníku CH-7 Kompress. [6]

Technické parametry

	CH-7 Kompress
Šířka kabiny	0,8 m
Celková šířka	1,5 m
Celková délka	7,05 m
Výška	2,35 m
Prázdná hmotnost	280 kg
Max. užitečná hmotnost	170 kg
Max. vzletová hmotnost (1)	450 kg
Motor	ROTAX 914 UL- EPA SA-R914
Maximální výkon	115 hp
Sání	2x Karburátor + Turbo
Kapacita nádrží	40 l
Vrtule	ocasní
Průměr vrtule	1,02 m
Průměr rotoru	6,27 m

Tab. 2.3 Technické parametry vrtulníku CH-7 Kompress

- (1) Závisí na předpisech daných státem. Maximální hmotnost je doporučena výrobcem.

Výkonové parametry

	CH-7 Kompres
Klouzavost	8,7:1
Minimální rychlost	0 km/h
Cestovní rychlost (75 %)	160 km/h
Nepřekročitelná rychlost V_{NE}	193 km/h
Rychlost stoupání	5 m/s
Délka startu	0 m
Délka dojezdu po přistání	0 m
Max. operační výška	4000 m
Teoretický dolet	450 / 650 km

Tab. 2.4 Výkonové parametry vrtulníku CH-7 Kompres

2.1.3 TL-2000 STING

Tabulka 2.5 obsahuje základní technické parametry. Tabulka 2.6 pak obsahuje základní výkonové parametry letounu TL-2000 STING. [7]

Technické parametry

	TL-2000 STING
Šířka kabiny	1,12 m
Rozpětí křídel	8,44 m
Celková délka	5,93 m
Výška	2,3 m
Prázdná hmotnost	328 kg
Max. užitečná hmotnost	122 kg
Max. vzletová hmotnost (1)	450 kg
Motor	ROTAX 912 ULS
Maximální výkon	100 hp
Sání	2x Karburátor
Kapacita nádrží	68 l
Vrtule	SR 2000 xa
Průměr vrtule	1,7 mm
Rotor	není

Tab. 2.5 Technické parametry letounu TL-2000 STING

(1) Závisí na předpisech daných státem. Maximální hmotnost je doporučena výrobcem.

Výkonové parametry

Rychlosti, uvedené v tabulce 2.6, jsou stanoveny pro maximální vzletovou hmotnost 450 kg

Délka startu, uvedená v tabulce 2.6, je stanovena pro maximální hmotnost 450 kg, z travnaté VPD a při konfiguraci vztlačových klapek pro start. V této vzdálenosti dojde k odlepení letounu.

Délka dojezdu po přistání, uvedená v tabulce 2.6, je stanovena pro maximální hmotnost 450 kg a při použití brzdného systému.

	TL-2000 STING
Klouzavost	15,2:1
Minimální rychlost	80 km/h
Cestovní rychlost (75 %)	200 km/h
Nepřekročitelná rychlost V_{NE}	290 km/h
Rychlost stoupání	5 m/s
Délka startu	125 m
Délka dojezdu po přistání	132 m
Max. operační výška	6500 m
Teoretický dolet	740 km

Tab. 2.6 Výkonové parametry letounu TL-2000 STING

2.2 Přímé provozní náklady

2.2.1 Variabilní náklady

Variabilní náklady jsou náklady, které přímo souvisí s provozem letadla. Mezi variabilní náklady patří výdaje na palivo a olej, výdaje na údržbu.

2.2.1.1 Výdaje na palivo

Jedná se o hodinové náklady na palivo, které jsou vypočteny na základě hodinové spotřeby paliva daného letadla letícího vodorovným přímočarým letem cestovní rychlostí (Jedná se o hodinovou spotřebu paliva při využití 75% výkonu motoru) a průměrné ceny paliva 36 Kč/l. Pro motory Rotax, jimiž jsou osazeny všechny tři letadla, schválil výrobce

řadu druhů paliv. V našich podmínkách je využíván především benzín Natural 95, jehož cena je přibližně 36 Kč/l. V tabulce 2.7 je uvedena hodinová spotřeba letadel, které dosahují při vodorovném přímočarém letu cestovní rychlostí. Tabulka také obsahuje hodinové výdaje na palivo.

	ZEN 1	CH-7 Kompres	TL-2000 STING
Spotřeba paliva za hodinu letu [l/h]	20	19	18
Hodinové výdaje na palivo [Kč/h]	720	684	648

Tab. 2.7 Hodinová spotřeba a výdaje na palivo

2.2.1.2 Výdaje na olej

	ZEN 1	CH-7 Kompres	TL-2000 STING
Doporučený olej	Castrol GTX 3 15W 40	Shell ADVANCE ULTRA 4 15W 50	Castrol GTX 3 15W 40
Cena oleje [Kč/l]	197	225	197
Max. spotřeba oleje [l/h]	0,1	0,1	0,1
Náklady při max. spotřebě oleje [Kč/h]	19,7	22,5	19,7

Tab. 2.8 Výdaje na olej

Zdrojem informací uvedených v tabulce 2.8 jsou příručky jednotlivých letadel.

2.2.1.3 Výdaje na údržbu

ZEN 1

Údržba vírníku ZEN 1 se skládá z údržby motorové jednotky a údržby draku letadla. Údržba motoru se provádí po 100 letových hodin nebo jednou za rok. Při této prohlídce

se mění olej, filtry a zapalovací svíčky. Výměna oleje, filtrů a svíček vyjde na 2000 Kč. V případě že kontrolu a výměnu provádí servisový technik, cena údržby se prodraží o 5000 Kč za práci. Další údržbový cyklus je dvousethodinový, při kterém musí být vyčištěn karburátor. Při šestisethodinové údržbě se provádí kontrola reduktoru. Motory Rotax mají dobu mezi generálními opravami 2000 hodin.

Údržba draku letadla se provádí po 100 letových hodin a náplní této údržby je kontrola draku letadla a aplikace potřebných mazadel v cenové relaci kolem 200 Kč. V případě že údržbu provede servisový technik, cena údržby se prodraží o 8000 Kč za práci. Další údržbový cyklus je dvousethodinový, při kterém se kontrolují čepy u rotorové hlavy. Při pětisethodinové údržbě se mění ložisko rotorové hlavy. Při náletu 600 hodin nebo dříve (podle opotřebení) se mění vrtule. Ceny vrtulí se pohybují v řádu desítek tisíc korun, záleží na typu a výrobci. Lze pořídit vrtuli za 17 000 Kč, ale také za 80 000 Kč (stavitelná vrtule). Při náletu 1200 hodin se mění rotor. Cena nového rotoru se pohybuje kolem 100 000 Kč.

Pokud údržbu motoru a kontrolu draku provádí odborný servis, přibližné náklady na údržbu, během 2000 letových hodin, jsou 497 000 Kč. Hodinové náklady na údržbu jsou tedy 249 Kč. Souhrn výdajů na údržbu je uveden v tabulce 2.9.

Interval údržby	Cena údržby materiál + práce	Cena údržby materiál	Četnost intervalů údržby v rámci 2000 let. h.	Cena údržby materiál + práce (2000 let. h.)	Cena údržby materiál (2000 let. h.)
100 h	15 200 Kč	2 200 Kč	20x	304 000 Kč	44 000 Kč
500 h	6 500 Kč	500 Kč	4x	26 000 Kč	2 000 Kč
600 h	21 000 Kč	17 000 Kč	3x	63 000 Kč	51 000 Kč
1200 h	104 000 Kč	100 000 Kč	1x	104 000 Kč	100 000 Kč
Σ				497 000 Kč	197 000 Kč

Tab. 2.9 Výdaje na údržbu vrtulníku ZEN 1

CH-7 Kompress

Servisní prohlídky vrtulníku CH-7 Kompress jsou prováděny v následujících intervalech: 1. prohlídka se provádí při náletu 25 hodin. Náplní této prohlídky je výměna oleje a kapalin, kterou provádí odborný servis. Další prohlídka se provádí po náletu 50 hodin. Obsahem této prohlídky je kontrola filtru, kterou si dělá majitel sám. Následuje 100 hodinová prohlídka, která musí být provedena opět v servisu. Obsahem je výměna oleje a provozních kapalin a také kontrola rotoru a vrtule. Následující prohlídka je 300 hodinová, opět provedena servisem, který zkontroluje převodovku a provede současně

100 hodinovou údržbu. Dalšími údržbovými intervaly jsou 500 a 1000 hodinová údržba. Výrobce vydává také Service Bulletin, který informuje například o kontrole termostatu.

Přibližné náklady na údržbu, během 2000 letových hodin, jsou 2 232 000 Kč. Hodinové náklady na údržbu jsou tedy 1 116 Kč.

TL-2000 STING

Údržba se provádí ve sto hodinových cyklech, při nichž se mění olej, filtry a svíčky. Výměna oleje, filtrů a svíček vyjde na 2000 Kč. V případě že kontrolu a výměnu provádí servisový technik, cena údržby se prodraží o 4000 Kč za práci. Součástí 100 hodinové prohlídky je také kontrola draku letounu. Výdaje jsou kolem 200 Kč na potřebná mazadla. V případě že údržbu provede servisový technik, cena údržby se prodraží o 5000 Kč za práci. Při 300 hodinové prohlídce se kontrolují listy vrtule. Životnost listů vrtule je 600 hodin, poté se listy musí vyměnit. Jeden list vrtule stojí kolem 10 000 Kč, jelikož se jedná o třílistou vrtuli, výměna listů stojí 30 000 Kč. Další údržba se provádí při náletu 600 hodin. Tuto údržbu provádí výrobce letadla a obsahem této údržby je demontáž draku letounu, křidel a podvozku. Kontrolují se tedy nejvíce namáhané části letounu. Tato údržba stojí 40 000 Kč.

Pokud údržbu motoru a kontrolu draku provádí odborný servis, přibližné náklady na údržbu, během 2000 letových hodin, jsou 434 000 Kč. Hodinové náklady na údržbu jsou tedy 217 Kč. Souhrn výdajů na údržbu je uveden v tabulce 2.10.

Interval údržby	Cena údržby materiál + práce	Cena údržby materiál	Četnost intervalů údržby v rámci 2000 let. h.	Cena údržby materiál + práce (2000 let. h.)	Cena údržby materiál (2000 let. h.)
100 h	11 200 Kč	2 200 Kč	20x	224 000 Kč	44 000 Kč
600 h	70 000 Kč	30 000 Kč	3x	210 000 Kč	90 000 Kč
Σ				434 000 Kč	134 000 Kč

Tab. 2.10 Výdaje na údržbu letounu TL-2000 STING

2.2.2 Fixní náklady

Fixní náklady jsou náklady, jejichž výše není závislá na počtu odlétaných hodin. Mezi fixní náklady řadíme pojištění.

2.2.2.1 Pojištění

Pojištění odpovědnosti za újmu způsobenou provozem SLZ (2014)

Pro letošní rok (2014) je sjednáno pojištění ve spolupráci s ČSOB Pojišťovnou.

Výše minimálních limitů

Rozsah krytí podle všeobecných pojistných podmínek pro pojištění letectví VPP AVN 2014 část C, čl. 1, odst. 1 (odpovědnost ve vztahu ke 3. osobám mimo SLZ) pro letadla s MTOW do 499 kg je ve výši 23 085 000 Kč.

Rozsah krytí podle všeobecných pojistných podmínek pro pojištění letectví VPP AVN 2014 část C, čl. 1, odst. 2 (odpovědnost ve vztahu k cestujícím a zavazadlům) je ve výši 3 481 218 Kč.

Částky pojistného – Územní platnost ČR+SR

Pojištění odpovědnosti za škodu v rozsahu krytí podle VPP AVN 2014 část C, čl. 1, odst. 1 (3. osoby mimo SLZ) pro letadla s MTOW do 499 kg je 1 150 Kč.

Pojištění odpovědnosti za škodu v rozsahu krytí podle VPP AVN 2014 část C, čl. 1, odst. 1 a 2 (odpovědnost vůči cestujícímu na palubě) je 1 350 Kč.

Částky pojistného – Územní platnost celý svět (vč. ČR+SR)

Pojištění odpovědnosti za škodu v rozsahu krytí podle VPP AVN 2014 část C, čl. 1, odst. 1 (3. osoby mimo SLZ) pro letadla s MTOW do 499 kg je 1 700 Kč.

Pojištění odpovědnosti za škodu v rozsahu krytí podle VPP AVN 2014 část C, čl. 1, odst. 1 a 2 (odpovědnost vůči cestujícímu na palubě) je 1 850 Kč. [8]

2.3 Nepřímé provozní náklady

2.3.1 Hangárování

Letadlový hangár

Letadlový hangár je budova přizpůsobena k uskladnění letadel všech typů. Zajišťuje ochranu před vlivy počasí a poskytuje zázemí pro případné opravy letecké techniky. Jakožto majitel letadla si můžete pronajmout místo v hangáru za určitou peněžní sumu. Ceny pronájmu se pohybují kolem 1500 – 2500 Kč/měsíc

Kontejner

Unifikované kontejnery řady ISO 1 AAA jsou dobrou variantou pro hangárování letadel typu vrtulník nebo vírník. Jedná se o čtyřicetistopý vyšší kontejner využívaný především pro lodní dopravu. Díky svým normovaným parametrům lze kontejner naložit na návěs kamionu a přepravovat jej tak po pozemních komunikacích. Velkou výhodou kontejneru je jeho manipulovatelnost. Majitel vrtulníku nebo vírníku si tak může kontejner umístit na své zahradě nebo poblíž vzletové a přistávací dráhy. Ceny těchto kontejnerů se pohybují v cenových relacích 50 000 Kč a více. Rozměry kontejneru řady ISO 1 AAA jsou uvedeny v tabulce 2.11.

40ti stopý vyšší kontejner

Vnější rozměry	délka	12.190 m
	šířka	2.438 m
	výška	2.896 m
Vnitřní rozměry	délka	12.000 m
	šířka	2.311 m
	výška	2.650 m
Rozměry dveří	šířka	2.280 m
	výška	2.560 m

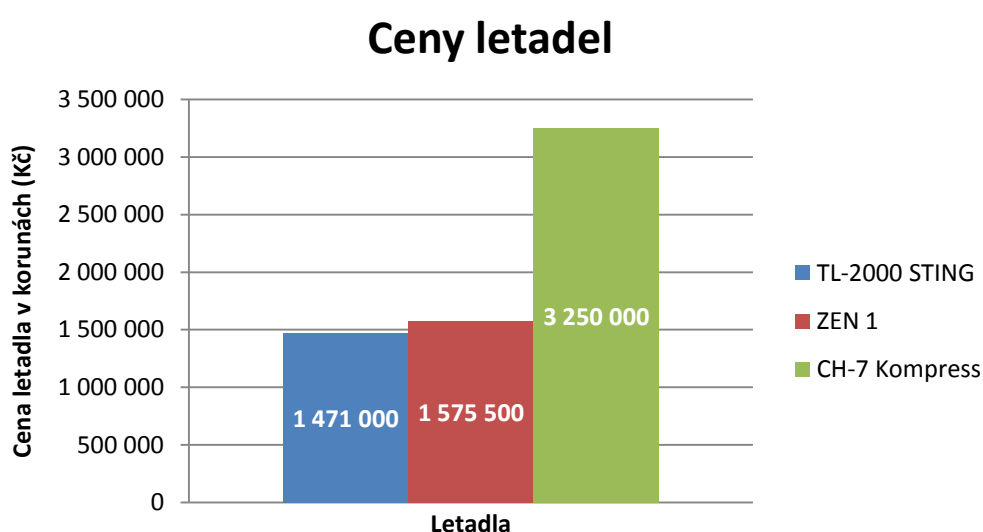
Tab. 2.11 Rozměry kontejneru řady ISO 1 AAA

2.4 Pořizovací náklady

Ceny jednotlivých letadel, které jsem uvedl v tabulce 2.12, jsou ceny základních verzí. Verze s nadstandardním vybavením jsou výrazně dražší. Jelikož prodejci uvádějí ceny v eurech, zvolil jsem měnový kurz české koruny k euru a to v poměru 25 Kč za 1 EURO. Ceny jsou uváděny bez DPH, které činí 21 %.

	ZEN 1	CH-7 Kompres	TL-2000 STING
Motorizace	Rotax 912 RST (120hp)	Rotax 914 UL (115hp)	Rotax 912 UL (80hp)
Cena bez DPH	1 575 500 Kč	3 250 000 Kč	1 471 000 Kč
Cena s DPH	1 906 355 Kč	3 932 500 Kč	1 779 910 Kč

Tab. 2.12 Pořizovací ceny letadel



Obr. 2.1 Pořizovací ceny letadel

Z grafu je patrné, že vrtulník je dvojnásobně dražší než zbylé dvě varianty. Je potřeba ale zmínit, že je vrtulník konstrukčně mnohem složitější než zbylé dvě letadla, což se promítá značnou mírou do uvedené ceny.

2.5 Náklady na výcvik

Náklady na výcvik uvedeny níže, zahrnují hodiny teoretické a praktické části v rozsahu stanoveném předpisem LAAČR. Rozsah výcviku a tudíž i náklady mohou být navýšeny jak ze strany klienta, tak ze strany výcvikové školy.

2.5.1 ZEN 1

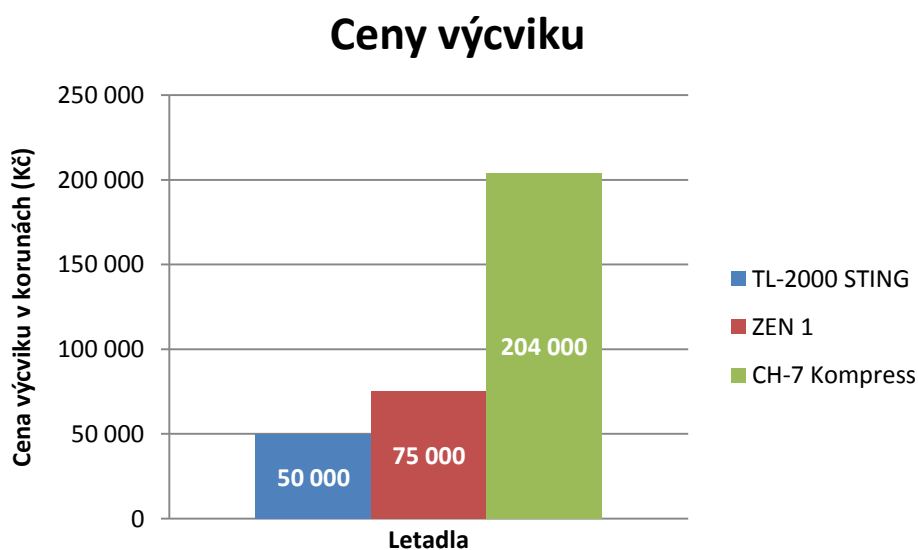
Výcvik na vírník se skládá z 20 hodin praktické části a 45 hodin teoretické přípravy. Cena výcviku je 75 000 Kč bez DPH.

2.5.2 CH-7 Kompres

Vrtulník má praktickou část rozšířenou na 34 hodin a 20 minut. Teoretická příprava má stejný rozsah jako v případě vírníku a to 45 hodin. Cena výcviku je 204 000 Kč bez DPH.

2.5.3 TL-2000 STING

Rozsah výcviku na letoun je stejný jako v případě vírníku. Skládá se tedy z 20 hodin praktického výcviku a 45 hodin teoretické přípravy. Výcvik lze absolvovat za 50 000 Kč bez DPH.



Obr. 2.2 Ceny výcviku pro jednotlivá letadla

Náklady na pilotní výcvik letounu jsou jednoznačně nejmenší. Důvodem jsou nízké provozní náklady a velká konkurence registrovaných středisek pilotního výcviku v ČR.

Náklady na pilotní výcvik vírníku jsou také poměrně nízké. Důvodem jsou nižší provozní náklady. Situace je ovšem naprosto odlišná v počtu registrovaných středisek pilotního výcviku v ČR, která jsou pouze tři.

Náklady na pilotní výcvik vrtulníku jsou poměrně vysoké. Důvodem jsou vysoké provozní náklady. V ČR jsou pouze dvě registrovaná střediska pilotního výcviku.

Střediska pilotního výcviku má pod správou LAA ČR. Ceny za pilotní výcvik uvedené výše jsou získány z registrovaných středisek pilotního výcviku.

3 VÍCEKRITERIÁLNÍ ROZHODOVÁNÍ PŘI VÝBĚRU VHODNÉHO LETADLA DANÝM ZÁKAZNÍKŮM

Tato kapitola obsahuje tvorbu dotazníku, vymezení kritérií (jejich členění a popis), stanovení vah kritérií s podrobným postupem. Dále jsou v této kapitole popsány dvě metody vícekritériálního rozhodování, přičemž obě metody jsou porovnány a následně je jedna z nich použita pro stanovení celkového ohodnocení variant jednotlivými respondenty.

3.1 Tvorba dotazníku

Dotazník uvedený v příloze A je zpracován za účelem získání expertních dat, kterými jsou váhy skupin kritérií a váhy jednotlivých kritérií. Dalšími expertními daty jsou dílčí ohodnocení variant.

V úvodu dotazníku je obeznámení respondentů s jeho náplní.

Dotazník se skládá ze dvou částí. V první části respondenti určují váhy skupinám kritérií a jednotlivým kritériím, které jsou zapisovány do tabulky A.1. V druhé části respondenti určují dílčí ohodnocení variant, které je zapisováno do tabulky A.2. Před oběma tabulkami je vždy popsán postup metody, podle kterého mají respondenti postupovat.

Dotazník obsahuje také fotografie všech tří variant, aby respondenti měli přesnou vizuální představu o všech třech letadlech.

Dotazník je sestaven tak, aby byl pro respondenty přehledný, srozumitelný a aby obsahoval pouze podstatné informace.

3.2 Vymezení kritérií

Kritéria, která jsem stanovil, jsou rozdělena do pěti kategorií (ekonomická, výkonnostní, manipulační, bezpečnostní a kritéria komfortu letu).

Celkem jsem stanovil 18 kritérií, z nichž 10 je nákladového typu a 8 výnosového typu.

- **Kritéria nákladového typu** – tato kritéria se snažíme minimalizovat, přidělujeme tedy větší ohodnocení variantám s nižší kvantitativní či kvalitativní hodnotou. Příkladem je kritérium pořizovací ceny, větší ohodnocení dáme variantě s nižší pořizovací cenou.

Mezi tato kritéria zahrnujeme: pořizovací cena, provozní náklady, náklady na výcvik, minimální rychlost, plocha pro vzlet a přistání, spotřeba paliva, možnost uskladnění, náročnost provedení nouzových postupů při vysazení pohonné jednotky, požadavky na místo pro nouzové přistání, citlivost na povětrnostní podmínky

- **Kritéria výnosového typu** - tato kritéria se snažíme maximalizovat, přidělujeme tedy větší ohodnocení variantám s vyšší kvantitativní či kvalitativní hodnotou. Příkladem je kritérium doletu, větší ohodnocení dáme variantě s větším doletem.

Mezi tato kritéria zahrnujeme: nepřekročitelná rychlost, cestovní rychlost, dolet, užitečná hmotnost, boční složka větru, zadní složka větru, výhled z pilotní kabiny, šířka pilotní kabiny

1. Ekonomická kritéria

- Pořizovací cena – Pořizovací cena nového letadla je uvedena bez DPH. Tato cena zahrnuje základní vybavení letadel.
- Provozní náklady – Do provozních nákladů jsem zahrnul hodinové náklady na palivo a údržbu.

Náklady na palivo jsou stanoveny na základě hodinové spotřeby paliva daného letadla letícího vodorovným přímočarým letem cestovní rychlostí a průměrné ceny paliva 36 Kč/l.

Hodinové náklady na údržbu představují součet nákladů investovaných na údržbu během 2000 letových hodin, které jsou vyděleny 2000 hodinami. V nákladech na údržbu je započítán materiál a práce odborného servisu.

- Náklady na výcvik – Toto kritérium je ovlivněno cenou letové hodiny a počtem hodin především praktického výcviku, jehož minimální délka je stanovena předpisem LAAČR.

2. Výkonnostní kritéria

- Nepřekročitelná rychlost – Nepřekročitelná rychlost představuje maximální konstrukční rychlost letadla za podmínek klidného počasí. Tato rychlost nesmí být nikdy překročena. Její překročení by vedlo k poškození letadla.
- Cestovní rychlost – Cestovní rychlost letadla je stanovena výrobcem. Je to rychlost vodorovného přímočarého letu, kdy je využito 75% výkonu motorové jednotky.
- Minimální rychlost – Minimální rychlost letadla je stanovena výrobcem. Je to rychlost, při které je letadlo schopno letět. Pokud dojde k poklesu rychlosti pod stanovenou minimální rychlost, letadlo začne padat.
- Dolet – Dolet je významné kritérium pro ty, kteří chtějí létat delší trasy, aniž by museli provádět mezipřistání z důvodu doplnění paliva. Toto kritérium je ovlivněno spotřebou paliva a kapacitou nádrže daného letadla. Při výpočtu doletu je uvažována spotřeba paliva odpovídající letu cestovní rychlostí.
- Plocha pro vzlet a přistání – Vzletová a přistávací dráha, zkráceně VPD, může být zpevněná (asfalt, beton) nebo nezpevněná (travnatá). Vzletové a přistávací dráhy jsou určeny především pro vzlety a přistání letounů a vírníků. Vrtulník využívá pro vzlet a přistání plochu zvanou heliport. Plochy pro vzlety a přistání ultralehkých letadel podrobně popisuje předpis LA 3.
- Užitečná hmotnost – Užitečná hmotnost je rozdíl mezi maximální vzletovou hmotností a prázdnou hmotností letadla.
- Spotřeba paliva – Uvedena spotřeba paliva je reálná za podmínek vodorovného přímočarého letu letadla letícího cestovní rychlostí.

- Boční složka větru – Toto kritérium představuje maximální certifikovanou rychlost boční složky větru pro vzlet a přistání.
- Zadní složka větru – Toto kritérium představuje maximální certifikovanou rychlost zadní složky větru pro vzlet a přistání.

3. Manipulační kritéria

- Možnost uskladnění (požadovaná plocha) – Všechna letadla se uskládají v hangárech, pokud jsou ale letadla dostatečně kompaktní, lze využít například lodní kontejner. V tomto kritériu je tedy uvažována plocha potřebná pro uskladnění letadla.

4. Bezpečnostní kritéria

- Náročnost provedení nouzových postupů při vysazení pohonné jednotky – Jelikož se v této diplomové práci zabývám zcela odlišnými typy letadel, stejně tak budou odlišné nouzové postupy při vysazení pohonné jednotky. Zcela odlišná bude také náročnost zvládnutí těchto postupů.
- Požadavky na místo pro nouzové přistání – Všechny tři letadla mají zcela odlišné nároky na místo nouzového přistání. Vrtulník, který dokáže přistát takměř kolmo, má malé nároky na strukturu povrchu přistávací plochy. Vírník má už tyto nároky vyšší. Při přistání má určitou dopřednou rychlost, při správném provedení přistávacího manévru je ale vírník schopen přistát na velmi krátké dráze. Letoun má vysoké nároky na toto kritérium, protože ze tří zmiňovaných letadel má při přistání nejvyšší rychlost a tedy i požadavky na délku a strukturu přistávací dráhy.

5. Kritéria komfortu letu

- Výhled z pilotní kabiny – Různé typy letadel mají odlišné konstrukční řešení pilotní kabiny, zorné pole posádky se tak může značně lišit. Ne každé letadlo má prosklené místa v oblasti hlavy či nohou. Pokud je daný typ letounu dolnoplošník, posádka má zorné pole značně omezené.
- Šířka pilotní kabiny – Šířka kabiny jednoznačně přispívá ke komfortu letu. Čím bude tento rozměr větší, tím bude pohodlnější let pro posádku.

- Citlivost na povětrnostní podmínky – Nejmenší citlivost na povětrnostní podmínky má vírník. Důvodem je rotující nosné křídlo, které pohltí značnou část povětrnostních vlivů. Další prvek snižující citlivost na povětrnostní podmínky je u vírníků spojení rotoru s drakem letadla, které není pevné. Naopak spojení rotoru s drakem letadla je pevné u vrtulníku, proto má také vrtulník větší citlivost na povětrnostní podmínky. Letoun, který má pevné nosné plochy, je nejcitlivější na povětrnostní podmínky.

3.3 Stanovení vah kritérií

Při tvorbě kritérií jsem dbal na úplnost souboru kritérií. Důsledkem toho je větší počet kritérií, a proto jsem zvolil pro stanovení vah kritérií metodu postupného rozvrhu vah uvedenou v tabulce 3.1. Tato metoda je založena na seskupování kritérií do dílčích skupin podle jejich věcné náplně.

Postup metody stanovení vah kritérií

- Stanovení váhy jednotlivých skupin kritérií. Ke stanovení váhy je využito metody bodové stupnice, která je přesněji specifikována v dotazníku. Váhy získané dotazníkem jsou nenormované, proto je potřeba váhy normovat a to pomocí vzorce:

$$V_i = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n k_i}$$

kde k_i váha i-tého kritéria.

Součet normovaných vah jednotlivých skupin musí být roven jedné. Normované váhy jsou zapsány do tabulky 3.1.

- Následuje analogický postup pro stanovení normovaných vah každého kritéria v jednotlivých skupinách. Součet normovaných vah v rámci každé skupiny musí být roven jedné.
- Výsledné váhy kritérií získám vynásobením vah kritérií s váhami skupin, do kterých daná kritéria patří.

Skupina kritérií	Váhy skupin kritérií	Kritéria	Váhy kritérií v rámci skupin	Výsledné váhy
Ekonomická kritéria		Pořizovací cena		
		Provozní náklady		
		Náklady na výcvik		
Výkonnostní kritéria		Nepřekročitelná rychlost		
		Cestovní rychlost		
		Minimální rychlost		
		Dolet		
		Požadavky na VPD		
		Užitečná hmotnost		
		Spotřeba paliva		
		Boční složka větru		
		Zadní složka větru		
Manipulační kritéria		Možnost uskladnění (Požadovaná plocha)		
Bezpečnostní kritéria		Náročnost provedení nouzových postupů při vysazení pohonné jednotky		
		Požadavky na místo pro nouzové přistání		
Kritéria komfortu letu		Výhled z pilotní kabiny		
		Šířka pilotní kabiny		
		Citlivost na povětrnostní podmínky		

Tab. 3.1 Metoda postupného rozvrhu vah

3.4 Metody vícekritériálního hodnocení variant

Pro vícekritériální rozhodování jsem zvolil dvě metody, a to metodu váženého pořadí a metodu založenou na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení.

3.4.1 Metoda váženého pořadí

Tato metoda je charakteristická určováním dílčích ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím v závislosti na pořadí variant.

Dílčí ohodnocení j -té varianty vzhledem k i -tému kritériu se stanovuje ze vzorce:

$$h_i^j = m + 1 - p_i^j \quad \text{pro } j = 1, 2, \dots, m,$$

$$i = 1, 2, \dots, n,$$

kde m počet variant,
 n počet kritérií hodnocení,
 p_i^j pořadí j -té varianty vzhledem k i -tému kritériu.

Celkové ohodnocení variant se stanoví ze vzorce:

$$H^j = \sum_{i=1}^n v_i \cdot h_i^j \quad \text{pro } j = 1, 2, \dots, m,$$

kde H^j celkové ohodnocení (hodnota) j -té varianty,
 v_i váha i -tého kritéria,
 h_i^j dílčí ohodnocení j -té varianty vzhledem k i -tému kritériu,
 n počet kritérií hodnocení,
 m počet variant.

Metoda váženého pořadí je značně hrubá, což je zapříčiněno tím, že dílčí ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím je odvozeno pouze z pořadí variant vzhledem k těmto kritériím. Při ohodnocení se tedy vůbec neberou v potaz rozdíly mezi hodnotami kritérií.

Tuto metodu použil pouze autor diplomové práce a to za účelem porovnání s metodou založenou na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení.

3.4.2 Metoda založena na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení

Tato metoda je charakteristická tím, že dílčí ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím stanovuje přímo hodnotitel nebo expert. Postupuje se tak, že hodnotitel (expert) na základě svých preferencí přiřadí určitý počet bodů ze zvolené bodové stupnice daným variantám vzhledem k jednotlivým kritériím. Zvolená stupnice může být desetibodová, nebo jemnější stobodová.

Celkové ohodnocení variant se stanoví ze vzorce:

$$H^j = \sum_{i=1}^n v_i \cdot h_i^j \quad \text{pro } j = 1, 2, \dots, m,$$

kde	H^j	celkové ohodnocení (hodnota) j -té varianty,
	v_i	váha i -tého kritéria,
	h_i^j	dílčí ohodnocení j -té varianty vzhledem k i -tému kritériu,
	n	počet kritérií hodnocení,
	m	počet variant.

U této metody je validita celkového hodnocení variant závislá na kvalitě a kompetenci hodnotitele (experta).

3.5 Vyhodnocení vícekritériálního rozhodování

3.5.1 Porovnání výsledků metody váženého pořadí a metody založené na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení

Obě metody vícekritériálního rozhodování byly zpracovány jednou osobou, a to autorem této diplomové práce. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 3.2.

<i>Metody vícekritériálního hodnocení variant</i>	<i>CH-7 Kompress</i>	<i>ZEN 1</i>	<i>TL-2000 STING</i>
<i>Metoda váženého pořadí</i>	1,77	2,26	1,97
<i>Metoda založena na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení</i>	5,69	7,46	6,86

Tab. 3.2 Celkové ohodnocení variant prostřednictvím dvou metod

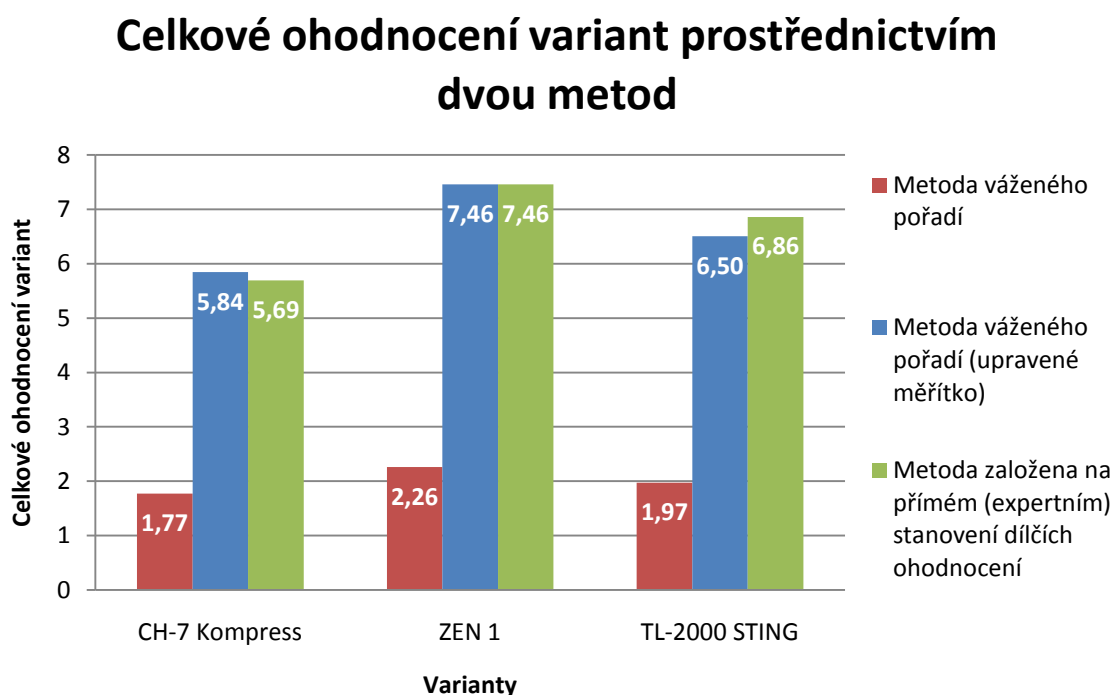
Z tabulky 3.2 lze vyčíst, že oběma metodami bylo dosaženo stejného pořadí variant. Rozdíl mezi oběma metodami je patrný v hodnotách jednotlivých variant. Při použití metody váženého pořadí jsou rozdíly mezi hodnotami variant 0,29 a 0,2. Rozdíly jsou ovlivněny pouze váhami, které byly kritériím přiděleny rozhodovatelem.

Při použití metody založené na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení jsou rozdíly mezi hodnotami variant 0,6 a 1,17. Rozdíly mezi hodnotami variant jsou mnohem

větší než u předchozí metody, což je způsobeno přidělením dílčích ohodnocení variantám rozhodovatelem.

V grafu 3.1 jsou znázorněny celkové ohodnocení variant oběma metodami. Za účelem lepšího vizuálního porovnání byly hodnoty (metody váženého pořadí) upraveny v daném měřítku. Měřítkem byl zvolen násobek 3,3, čímž bylo docíleno rovnosti celkového ohodnocení preferované varianty.

Jak tedy vyplývá z porovnání obou metod, je metoda váženého pořadí velmi hrubá. Metoda váženého pořadí má smysl pouze tehdy, když jsou všechna kritéria kvalitativního charakteru. Metoda váženého pořadí je na úkor hrubých výsledků velmi rychlá a nenáročná na rozhodovatele. Není vhodné tuto metodu aplikovat na více respondentů, jelikož dílčí ohodnocení variant bude vždy stejné, respondenti ovlivní pouze váhy jednotlivých kritérií.



Graf 3.1 Celkové ohodnocení variant prostřednictvím dvou metod

3.5.2 Metoda založena na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení

Aby bylo možno tuto metodu aplikovat na jednotlivé respondenty, bylo potřeba vytvořit dotazník, jehož vzor se nachází v příloze A. Vyplněné dotazníky byly následně zpracovány autorem diplomové práce a výsledky zapsány do tabulky 3.3.

Respondenti byli osloveni na svých pracovištích a vyplňovali dotazník za přítomnosti proškolené osoby (studenta VŠB-TU Ostrava), která dohlížela na správné a úplné vyplnění dotazníku. Tím bylo také zajištěno vysvětlení v případě, že respondent neporozuměl předloženému dotazníku. Průzkum byl zaměřen na osoby zabývající se problematikou letectví.

Průzkum byl aplikován v dubnu 2014. Celkem bylo dotázáno 20 respondentů. Všichni respondenti byli ochotni dotazník vyplnit.

3.5.2.1 Celkové ohodnocení variant respondenty

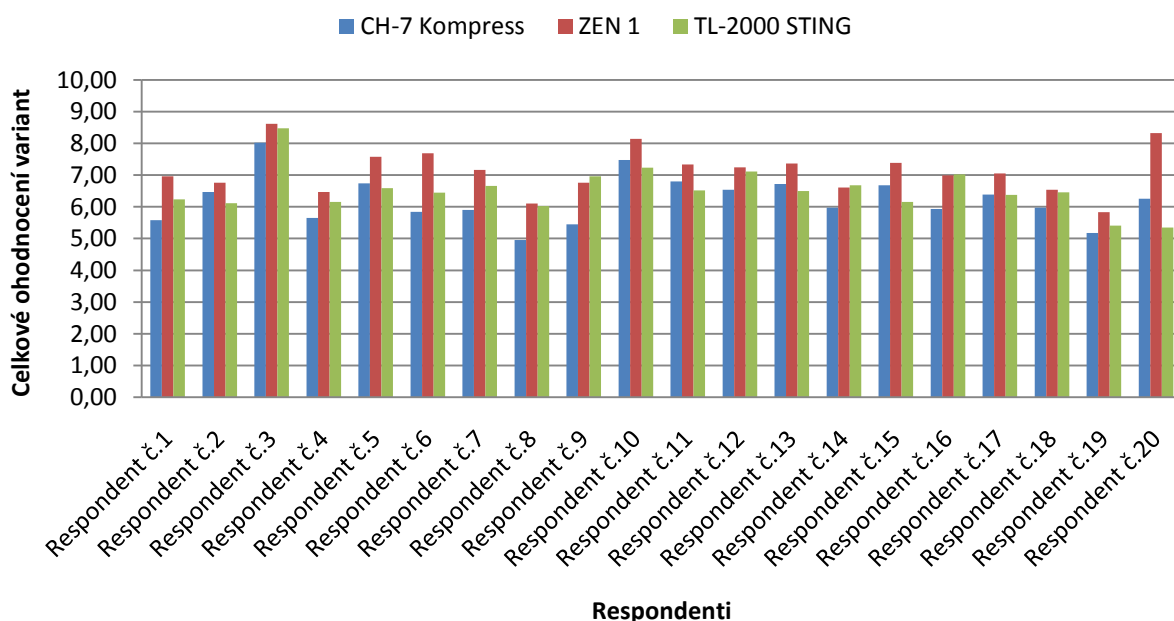
Celkové ohodnocení variant jednotlivými respondenty je uvedeno v tabulce 3.3.

	CH-7 Kompress	ZEN 1	TL-2000 STING
Respondent č.1	5,58	6,96	6,24
Respondent č.2	6,47	6,76	6,11
Respondent č.3	8,02	8,62	8,48
Respondent č.4	5,65	6,47	6,15
Respondent č.5	6,74	7,57	6,59
Respondent č.6	5,84	7,69	6,45
Respondent č.7	5,90	7,16	6,66
Respondent č.8	4,95	6,10	6,03
Respondent č.9	5,45	6,76	6,96
Respondent č.10	7,47	8,14	7,23
Respondent č.11	6,80	7,33	6,52
Respondent č.12	6,54	7,25	7,12
Respondent č.13	6,73	7,36	6,50
Respondent č.14	5,97	6,61	6,68
Respondent č.15	6,68	7,39	6,15
Respondent č.16	5,93	6,99	7,02
Respondent č.17	6,39	7,05	6,37
Respondent č.18	5,98	6,54	6,46
Respondent č.19	5,18	5,83	5,41
Respondent č.20	6,26	8,32	5,35

Tab. 3.3 Celkové ohodnocení variant

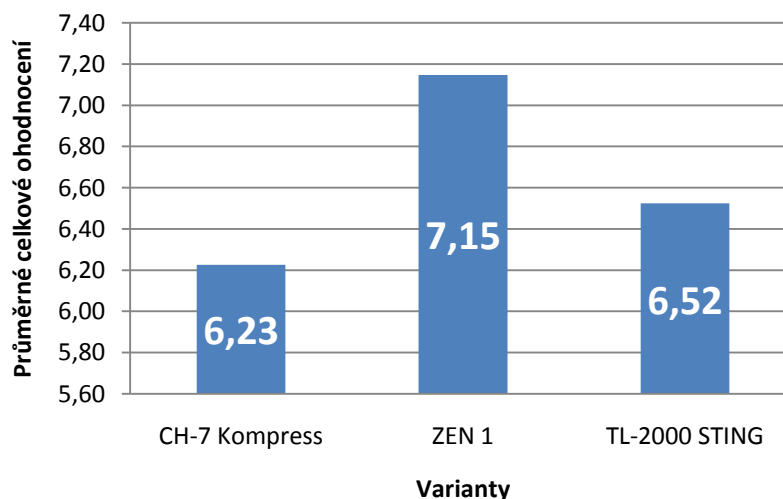
Pro lepší názornost hodnot uvedených v tabulce 3.3, je zpracován graf 3.2. Tento graf znázorňuje závislost celkových ohodnocení variant na respondentovi. Z grafu je patrné, že většina respondentů prostřednictvím vícekritériálního rozhodování preferuje vlník ZEN 1. Z tohoto grafu ovšem nelze jednoznačně stanovit, které letadlo je preferováno jako druhé nebo třetí. Proto byl vytvořen graf 3.3, který znázorňuje průměrné celkové ohodnocení variant.

Celkové ohodnocení variant jednotlivých respondentů



Graf 3.2 Celkové ohodnocení variant

Průměrné celkové ohodnocení variant

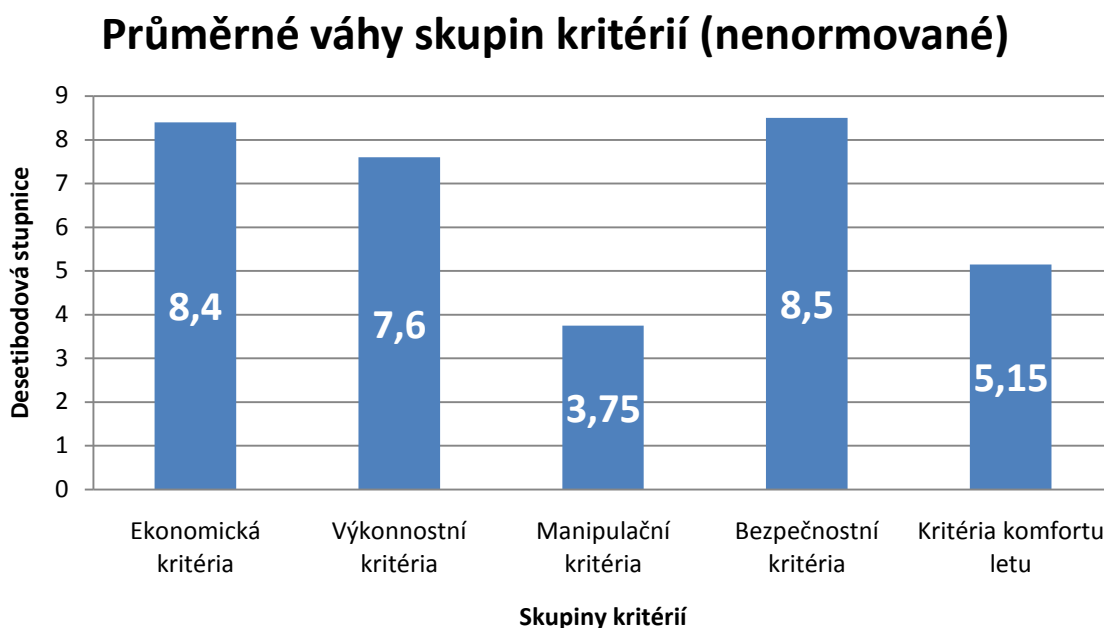


Graf 3.3 Průměrné celkové ohodnocení variant

Z grafu 3.3 lze vyvodit preferenční uspořádání variant. 20 respondentů v průměru preferuje jako první variantu vlník ZEN 1 s průměrným celkovým ohodnocením 7,15. Jako druhou variantu preferují letoun TL-2000 STING s průměrným celkovým ohodnocením 6,52. Jako třetí a poslední variantu preferují vrtulník CH-7 Kompress s průměrným celkovým ohodnocením 6,23.

3.5.2.2 Váhy stanovené respondenty

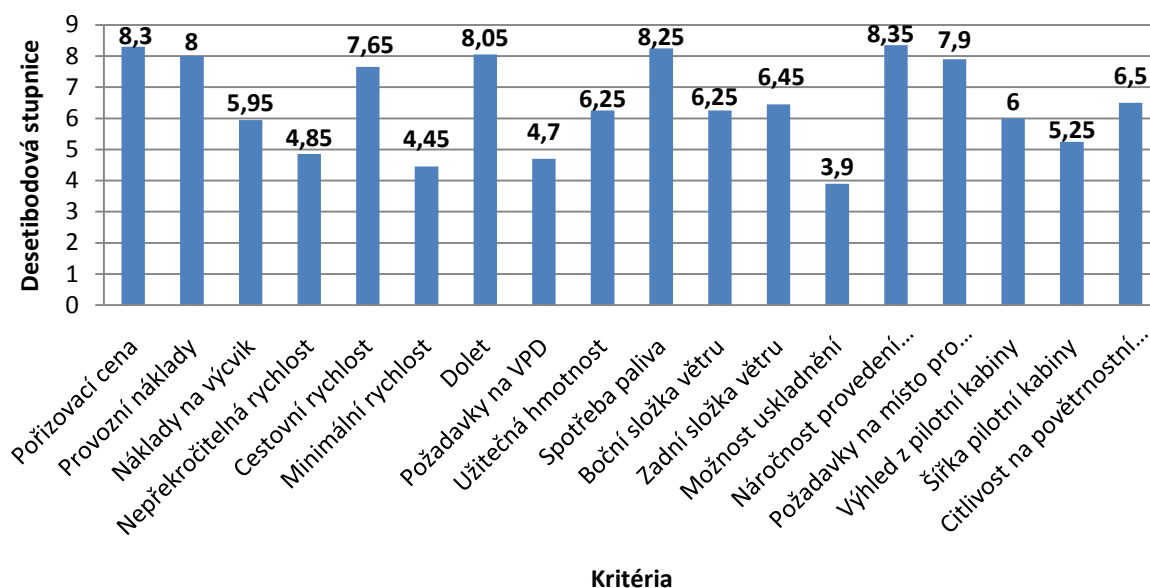
Každý respondent vyplňující dotazník stanovil váhy skupinám kritérií a následně stanovil váhy jednotlivých kritérií v daných skupinách. V grafu 3.4 jsou uvedeny průměrné váhy skupin kritérií, které jim byly stanoveny respondenty. Z grafu je patrné, že respondenti přidělili v průměru větší váhu ekonomickým, výkonnostním a bezpečnostním skupinám kritérií. Naopak v průměru menší váhu přidělili skupinám manipulační kritéria a kritéria komfortu letu.



Graf 3.4 Průměrné váhy skupin kritérií

V grafu 3.5 jsou uvedeny průměrné váhy všech kritérií v rámci jednotlivých skupin, které jim byly stanoveny respondenty. Mezi kritéria, kterým respondenti přidělili v průměru největší váhu, se řadí pořizovací cena, provozní náklady, cestovní rychlost, dolet, spotřeba paliva, náročnost provedení nouzových postupů při vysazení pohonné jednotky a požadavky na místo pro nouzové přistání. Mezi kritéria, kterým respondenti přidělili v průměru nejmenší váhu, se řadí nepřekročitelná rychlost, minimální rychlost, požadavky na VPD a možnost uskladnění (požadovaná plocha).

Průměrné váhy kritérií v rámci skupin (nenormované)



Graf 3.5 Průměrné váhy kritérií

3.6 Vícekriteriální rozhodování prostřednictvím internetu

Na internetové adrese www.letadloprome.webnode.cz je k dispozici soubor ve formátu xlsx, který si může každý otevřít, případně stáhnout. Soubor obsahuje vícekriteriální rozhodování skládající se ze dvou tabulek. První tabulka slouží ke stanovení vah skupinám kritérií a jednotlivým kritériím. Tabulka je tedy zpracovaná metodou postupného rozvrhu vah. Druhá tabulka slouží ke stanovení dílčích ohodnocení variant, přičemž byla využita metoda založená na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení. Výpočty vícekriteriálního rozhodování jsou plně automatizovány. Potencionální zájemce o využití aplikace pouze vyplňuje příslušná pole stanovující váhy kritérií a dílčí ohodnocení variant.

Na internetové adrese www.letadloprome.webnode.cz je také text popisující jednotlivá kritéria. Pokud by byly případné dotazy vztahující se k vícekriteriálnímu rozhodování, lze využít kontaktní email. Pro lepší vizuální představu jsou na stránkách také fotky jednotlivých letadel.

4 VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH LETADEL

Tato kapitola naznačuje hlavní přednosti a nedostatky jednotlivých letadel.

4.1 ZEN 1

Vírník ZEN 1 byl preferován respondenty jako varianta číslo 1. Jeho kladnými stránkami jsou především pořizovací cena. Díky konstrukční jednoduchosti jsou poměrně nízké také náklady na údržbu. Vírník respondenti preferovali také díky své nízké minimální rychlosti. Významným kladem je také malá náročnost na provedení nouzových postupů při vysazení pohonné jednotky a následně malé požadavky na místo pro nouzové přistání. Díky rotujícímu křídlu, které není pevně spojeno s drakem, má vírník malou citlivost na povětrnostní vlivy. Konstrukce kabiny je řešena tak, aby měla posádka perfektní výhled. Vírník samozřejmě neoplývá pouze samými klady. Jeho velkými negativy jsou malá aerodynamická jemnost, díky které má vírník velmi malou klouzavost a velkou spotřebu paliva. Při pilotáži je potřeba se vyhýbat manévřům, během kterých vznikají záporné násobky přetížení. Při pilotáži je také velmi důležité hlídat dopřednou rychlost. Velká dopředná rychlost může být pro vírník kritická. Souhrn kladů a záporů je uveden v tabulce 4.1.

+	-
Konstrukční jednoduchost	Nízká cestovní rychlost
Poměrně nízké náklady na údržbu	Malá klouzavost
Pořizovací cena	Požadavky na vzletovou dráhu
Nízká minimální rychlost	Vysoká spotřeba paliva
Malá náročnost na provedení nouzových postupů při vysazení pohonné jednotky	Menší manévrovatelnost
Výhled z pilotní kabiny	Nebezpečné lety s velkou dopřednou rychlostí
Malá citlivost na povětrnostní podmínky	Nepřípustné manévry se záporným násobkem přetížení

Tab. 4.1 Vyhodnocení vírníku ZEN 1

Využití vírníků v České republice je striktně vyhrazeno ke sportovnímu létání. Nebýt tohoto omezení, k vírníku ZEN 1 je možno instalovat postřikové zařízení a vírník tak využít k chemickým postřikům zemědělských ploch viz. obrázek 4.1.



Obr. 4.1 ZEN 1 Agro

V sousedním Polsku využívá potenciál vírníku ZEN 1 jednotka hasičů OSP Baranow. Vírník je například využíván při policejních akcích, kdy monitoruje silnice a bezpečně navádí policejní vozy k zásahu.

4.2 CH-7 Kompres

Vrtulník CH-7 Kompres byl preferován respondenty jako varianta číslo 3. Velkým negativem vrtulníku je jeho finanční náročnost. CH-7 Kompres má vysokou pořizovací cenu. Díky své konstrukční složitosti má vrtulník také vysoké náklady na údržbu. Dalšími negativy jsou vysoká spotřeba paliva a vysoká náročnost na provedení nouzových postupů při vysazení pohonné jednotky. Pokud pilot zvládne nouzový postup při vysazení pohonné jednotky, má vrtulník velice malé požadavky na místo pro nouzové přistání. CH-7 Kompres je také velice skladný. Díky svým kompaktním rozměrům je možno vrtulník uskladnit například v lodním kontejneru. CH-7 Kompres je koncipován tak, aby posádka seděla za sebou. Na úkor pohodlí má ovšem posádka perfektní výhled z pilotní kabiny. Jedinou výhodou vrtulníku jsou jeho letové vlastnosti. Příkladem je schopnost visení nebo vertikální let. Díky těmto vlastnostem má vrtulník minimální požadavky na VPD.

+	-
Požadavky na VPD	Požizovací cena
Možnost visení	Konstrukční složitost
Manévrovací schopnosti	Vysoké náklady na údržbu
Výhled z pilotní kabiny	Vysoké náklady na výcvik
Malé požadavky na místo pro nouzové přistání	Velká spotřeba paliva
Vysoká skladnost	Vysoká náročnost na provedení nouzových postupů při vysazení pohonné jednotky
Univerzálnost použití	

Tab. 4.2 Vyhodnocení vrtulníku CH-7 Kompress

Pro vrtulník CH-7 Kompress platí v České republice stejné omezení jako pro vírník ZEN 1, může být využíván pouze ke sportovnímu létání. Nebýt tohoto omezení, je možné CH-7 Kompress vybavit pracovním zařízením, kterým může být cargo hák nebo postřikové zařízení.



Obr. 4.2 CH-7 Kompress s cargo hákem



Obr. 4.3 CH-7 Kompress s postřikovým zařízením

4.3 TL-2000 STING

TL-2000 STING byl preferován respondenty jako varianta číslo 2. Mezi jeho největší přednosti patří nízká pořizovací cena a nízké provozní náklady. Letoun má ze všech variant nejméně pohyblivých součástí, je tedy nejméně náchylný k mechanické závadě. Letoun má velkou aerodynamickou jemnost, díky které disponuje velkou klouzavostí a malou spotřebou paliva. Letoun je ze všech variant nejrychlejší, má ale také nejvyšší minimální rychlost. TL-2000 STING má ze všech variant nejhorší výhled z pilotní kabiny, jelikož se jedná o dolnoplošník. Další nevýhodou pevného křídla je vysoká citlivost na povětrnostní podmínky a horší skladnost. Již zmíněná klouzavost dává letounu, po vynechání pohonné jednotky, dostatek času k vyhledání plochy pro nouzové přistání. Ta ovšem musí být dostatečně dlouhá a bez větších nerovností.

+	-
Konstrukční jednoduchost	Vysoká minimální rychlost
Nízké náklady na údržbu	Výhled z pilotní kabiny
Pořizovací cena	Vysoká citlivost na povětrnostní podmínky
Velká klouzavost	Požadavky na VPD
Malá spotřeba paliva	Velké požadavky na místo pro nouzové přistání
Vysoká cestovní rychlost	Nízká skladnost

Tab. 4.3 Vyhodnocení letounu TL-2000 STING

TL-2000 STING je výhradně určen ke sportovnímu létání. Nelze jej využívat například k chemickým postřikům jako předchozí dvě varianty.

5 ZPRACOVÁNÍ METODIKY STANOVENÍ PŘÍMÝCH PROVOZNÍCH NÁKLADŮ VÍRNÍKU

Tato kapitola obsahuje metodiku, pomocí níž lze stanovit přímé provozní náklady vírníku. Tato metodika je pouze orientační, jelikož budoucí náklady přesně neznáme a pouze je odhadujeme. Výsledkem této metodiky je hrubý odhad nákladů na letovou hodinu a hrubý odhad nákladů na uletěný kilometr. Mezi náklady jsou zahrnuty také poplatky za využívání rádiových kmitočtů přidělených letadlové stanici. Tato poplatková povinnost se nevztahuje na držitele oprávněné k využívání rádiových kmitočtů pro leteckou pohyblivou službu při sportovní a rekreační činnosti, která byla zrušena k datu 1. 8. 2011 [9]. V tabulce jsou tyto náklady uvažovány z důvodu možného opětovného

zavedení těchto poplatků. Pokud tedy nejsou hrazeny některé náklady (poplatek za využívání rádiových kmitočtů přidělených letadlové stanici nebo havarijní pojištění), do sloupce III se vyplní hodnota 0. Náklady za hangárování se neřadí mezi přímé provozní náklady, jsou ale v metodice uvažovány, jelikož se jedná o nezanedbatelnou částku, kterou musí většina majitelů či provozovatelů ročně zaplatit. Metodika je zpracována v tabulce 5.1.

I	II	III	IV
A	Plánovaný počet let provozování		let
B	Odhad nákladů na nečekané opravy během provozování		Kč
C	Průměrné roční výdaje na údržbu provedenou odborným servisem		Kč/rok
D	ROČNÍ NÁKLADY NA ÚDRŽBU A NEČEKANÉ OPRAVY BĚHEM PROVOZOVÁNÍ	$=(B/A)+C$	Kč/rok
E	Průměrný počet ročně nalétaných hodin		hodin/rok
F	Průměrná spotřeba paliva v litrech na 1 hodinu letu		l/h
G	Cena litru paliva v korunách na litr		Kč/l
H	ROČNÍ NÁKLADY NA PALIVO	$=E \cdot F \cdot G$	Kč/rok
I	Průměrné roční přistávací poplatky		Kč/rok
J	Poplatek za využívání rádiových kmitočtů přidělených letadlové stanici		Kč/rok
K	Registrační poplatek za radiostanici rozpočítaný na plánovaný počet let provozování		Kč/rok
L	Průměrné roční náklady na povinné ručení		Kč/rok
M	Průměrné roční náklady na havarijní pojištění		Kč/rok
N	Průměrné roční náklady za hangárování		Kč/rok
O	DALŠÍ ROČNÍ NÁKLADY	$=I+J+K+L+M+N$	Kč/rok
P	CELKOVÉ ROČNÍ NÁKLADY	$=D+H+O$	Kč/rok
Q	ODHAD NÁKLADŮ NA LETOVOU HODINU	$=P/E$	Kč/h
R	Průměrná rychlost letu odpovídající průměrné spotřebě paliva uvedené v řádku F		km/h
S	ODHAD NÁKLADŮ NA KILOMETR	$=Q/R$	Kč/km

Tab. 5.1 Metodika stanovení přímých provozních nákladů vírníku

Tabulka 5.1 je sestavena ze čtyř sloupců označených římskými číslicemi. Sloupec I obsahuje písmena abecedy označující jednotlivé řádky. Sloupec II popisuje význam jednotlivých řádků. Sloupec III se skládá ze dvou typů proměnných, a to ze vstupních hodnot potřebných ke stanovení přímých provozních nákladů a hodnot, které jsou ze vstupních hodnot dopočítány. Řádky A, B, C, E, F, G, I, J, K, L, M, N, R představují vstupní informace potřebné k určení přímých provozních nákladů. Řádky D, H, O, P, Q, S obsahují vzorce potřebné k daným výpočtům. Sloupec IV obsahuje jednotky daných proměnných.

Příklad výpočtu provozních nákladů je uveden v tabulce 5.2. Pro vzorový příklad byl vybrán vírník ZEN 1. Průměrné roční výdaje na údržbu provedenou odborným servisem jsou vypočítány z hodnot uvedených v kapitole 2.2.1.3. Výdaje na údržbu. Tato kapitola podrobně popisuje výdaje na údržbu vírníku ZEN 1. Přistávací poplatky jsou na každém letišti odlišné. Ve vzorovém příkladu uvažuji průměrnou výši přistávacích poplatků 75 Kč. Registrační poplatek za radiostanici činí jednorázově kolem 3000 Kč, je ho ale potřeba rozpočítat na plánovaný počet let provozování. Průměrné roční náklady na povinné ručení jsou uvedeny v kapitole 2.2.2.1. Pojištění. Průměrnou částku za hangárování jsem stanovil 2000 Kč/měsíc.

I	II	III	IV
A	Plánovaný počet let provozování	13	let
B	Odhad nákladů na nečekané opravy během provozování	150000	Kč
C	Průměrné roční výdaje na údržbu provedenou odborným servisem	38230	Kč/rok
D	ROČNÍ NÁKLADY NA ÚDRŽBU A NEČEKANÉ OPRAVY BĚHEM PROVOZOVÁNÍ	49768	Kč/rok
E	Průměrný počet ročně nalétaných hodin	150	hod/rok
F	Průměrná spotřeba paliva v litrech na 1 hodinu letu	20	l/h
G	Cena litru paliva v korunách na litr	36	Kč/l
H	ROČNÍ NÁKLADY NA PALIVO	108000	Kč/rok
I	Průměrné roční přistávací poplatky	5500	Kč/rok
J	Poplatek za využívání rádiových kmitočtů přidělených letadlové stanici	0	Kč/rok
K	Registrační poplatek za radiostanici rozpočítaný na plánovaný počet let provozování	230	Kč/rok
L	Průměrné roční náklady na povinné ručení	1350	Kč/rok
M	Průměrné roční náklady na havarijní pojištění	0	Kč/rok
N	Průměrné roční náklady za hangárování	24000	Kč/rok
O	DALŠÍ ROČNÍ NÁKLADY	31080	Kč/rok
P	CELKOVÉ ROČNÍ NÁKLADY	188848	Kč/rok
Q	ODHAD NÁKLADŮ NA LETOVOU HODINU	1259	Kč/h
R	Průměrná rychlost letu odpovídající průměrné spotřebě paliva uvedené v řádce F	140	km/h
S	ODHAD NÁKLADŮ NA KILOMETR	9	Kč/km

Tab. 5.2 Metodika stanovení přímých provozních nákladů vírníku ZEN 1

Z výpočtů vyplývá, že přibližné provozní náklady vírníku ZEN 1 jsou z časového hlediska 1259 Kč/h a z hlediska vzdálenostního 9 Kč/km.

Pokud by měla metodika sloužit ke stanovení přímých provozních nákladů vírníku, který bude provozovatel pronajímat bez účelu zisku, pak bude původní tabulka 5.1 rozšířena o tři řádky, které by obsahovaly pořizovací cenu vírníku, odhad prodejní ceny vírníku a roční pořizovací náklady. Tabulka by tedy byla rozšířena o takzvanou amortizaci

vírníku. Dalšími změnami v tabulce bude odstranění nákladů za hangárování a úprava výpočtu celkových ročních nákladů. Tabulka 5.3 obsahuje změny uvedené výše.

I	II	III	IV
①	Pořizovací cena vírníku		Kč
②	Odhad prodejní ceny vírníku		Kč
③	ROČNÍ POŘIZOVACÍ NÁKLADY	$=\textcircled{1} - \textcircled{2})/A$	Kč/rok
A	Plánovaný počet let provozování		let
⋮			
M	Průměrné roční náklady na havarijní pojištění		Kč/rok
N	DALŠÍ ROČNÍ NÁKLADY	$=I+J+K+L+M$	Kč/rok
O	CELKOVÉ ROČNÍ NÁKLADY	$=D+H+N+ \textcircled{3}$	Kč/rok
P	ODHAD NÁKLADŮ NA LETOVOU HODINU	$=O/E$	Kč/h
Q	Průměrná rychlost letu odpovídající průměrné spotřebě paliva uvedené v řádku F		km/h
R	ODHAD NÁKLADŮ NA KILOMETR	$=P/Q$	Kč/km

Tab. 5.3 Rozšíření provozních nákladů o amortizaci

Proměnné v řádcích A – M, jsou totožné s proměnnými z tabulky 5.1.

Příklad výpočtu provozních nákladů se započítanou amortizací vírníku je uveden v tabulce 5.4.

I	II	III	IV
①	Pořizovací cena vírníku	1937500	Kč
②	Odhad prodejní ceny vírníku	100000	Kč
③	ROČNÍ POŘIZOVACÍ NÁKLADY	141346	Kč/rok
A	Plánovaný počet let provozování	13	let
⋮			
M	Průměrné roční náklady na havarijní pojištění	0	Kč/rok
N	DALŠÍ ROČNÍ NÁKLADY	7080	Kč/rok
O	CELKOVÉ ROČNÍ NÁKLADY	306195	Kč/rok
P	ODHAD NÁKLADŮ NA LETOVOU HODINU	2041	Kč/h
Q	Průměrná rychlost letu odpovídající průměrné spotřebě paliva uvedené v řádku F	140	km/h
R	ODHAD NÁKLADŮ NA KILOMETR	14,6	Kč/km

Tab. 5.4 Metodika stanovení přímých provozních nákladů vírníku ZEN 1 rozšířená o amortizaci

Z výpočtů vyplývá, že přibližné provozní náklady vírníku ZEN 1 po započítání amortizace jsou z časového hlediska 2201 Kč/h a z hlediska vzdálenostního 15,7 Kč/km.

Metodika stanovení přímých provozních nákladů je stejně jako vícekritériální rozhodování, k dispozici na internetových stránkách www.letadloprome.webnode.cz ve formátu xlsx.

6 VÝPOČET ZÁKLADNÍCH VÝKONOVÝCH CHARAKTERISTIK VÍRNÍKU

6.1 Význam základních výkonových parametrů

Účelem této části práce je poskytnout budoucímu projektantovi vírníku orientační podklady o výkonech, které se dají očekávat od nového vírníku a o tom, jak je volba jeho základních parametrů ovlivňuje.

Použité výpočtové vzorce jsou odvozeny s použitím celé řady předpokladů [10], str. 20 až 27 a na mnoha reálných vírnících ověřeny. Výsledky výpočtu je možno mj. použít i pro orientační ekonomické srovnání očekávaných ekonomických parametrů provozu projektovaného vírníku. Např. pro stanovení spotřeby paliva při dané hmotnosti a daných základních parametrech vírníku stačí už jenom znát např. jeho cestovní rychlost.

Zde uvedený přibližný výpočet však v žádném případě projektant nemůže použít jako podklad při průkazu způsobilosti vírníku.

6.2 Přibližný výpočet základních parametrů vírníku

Pozn.: Výpočet rychlostí VUL následuje v pořadí, jaké použil autor práce [11]. Toto pořadí je nutno při výpočtu dodržovat, jelikož některé výpočty na sebe navazují.

Výpočet maximální rychlosti vodorovného ustáleného letu V_{vul}

$$V_{max} = 27 \left(\frac{N_{max}}{\sum cx} \right)^{1/3} \quad \left[\frac{km}{h} \right]$$

kde N_{max} je maximální vzletový výkon motoru [HP],

$\sum cx$ představuje celkový součinitel odporu nenosných částí vírníku.

Pro dvoumístné vírníky se sedadly vedle sebe dosadíte hodnotu 0,4.

Pro jednomístný vírník, nebo vírník se sedadly za sebou hodnotu tak asi o třetinu nižší, tj. 0,3.

Výpočet cestovní rychlosti

$$V_c = \frac{2,55}{\sqrt{\Delta}} \cdot \sqrt{\frac{G}{\Sigma cx}} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + 284 \frac{\Sigma cx}{F}}} \quad \left[\frac{km}{h} \right]$$

kde Δ je relativní hustota vzduchu v dané výšce podle MSA,

G je tíha vírníku v [kg],

F je plocha rotoru v [m²].

Výpočet ekonomické rychlosti

$$V_{ek} = \frac{7,85}{\sqrt{\Delta}} \cdot \sqrt[4]{\frac{pG}{\Sigma cx}} \quad \left[\frac{km}{h} \right]$$

kde $p = G/F$ v [kg/m²].

Výpočet minimální rychlosti

$$V_{min} = 7,7 \sqrt{\frac{p}{\Delta} q} \quad \left[\frac{km}{h} \right]$$

Výpočet délky rozjezdu

$$L_r = \frac{GV_{min}^2}{18,6(2N_{max} - 0,105)} \quad [m]$$

7 ZÁVĚR

V této diplomové práci jsem se zabýval třemi typy letadel a to konkrétně vírníkem ZEN 1, vrtulníkem CH-7 Kompress a letounem TL-2000 STING. Stěžejní částí práce bylo vytvořit metodiku vícekriteriálního rozhodování při výběru vhodného letadla daným zákazníkům. V úvodu jsem pro čtenáře nastínil problematiku jednotlivých letadel z pohledu principu činnosti, letových vlastností, bezpečnosti a pilotního výcviku. Následně jsem zpracoval ekonomické a technické parametry jednotlivých letadel, které jsem získal buď z příruček, nebo přímo od provozovatelů letadel. Po nastřádání potřebných informací jsem zpracoval metodiku vícekriteriálního rozhodování. Metodika se skládá z vymezení kritérií, tvorby dotazníku, postup pro stanovení vah kritérií a dvou metod vícekriteriálního hodnocení variant (metoda váženého pořadí, metoda založena na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení). Následně jsem využil obě metody vícekriteriálního hodnocení variant za účelem porovnání výsledků obou metod. Z výsledků bylo stanoveno v obou případech stejné preferenční pořadí, výsledky se ale významně lišily v rozdílech mezi celkovými ohodnoceními variant daných metod. V další části byla využívána pouze metoda založena na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení. Vytvořil jsem dotazník, jehož vzor se nachází v příloze A. Tento dotazník byl předložen dvaceti respondentům, kteří jej vyplnili za přítomnosti proškolené osoby (autora diplomové práce), která dohlížela na správné a úplné vyplnění dotazníku. Vyplněné dotazníky jsem následně zpracoval a vyhodnotil. Výsledkem je preferenční uspořádání tří variant, které v průměru stanovili dotázaní respondenti. Další část pojednává o hlavních přednostech a nedostacích jednotlivých letadel. Posledním z cílů bylo zpracovat metodiku stanovující přímé provozní náklady vírníku. Metodiku jsem zpracoval v tabulkové formě, přičemž jsem také uvedl názorný příklad její aplikace na vírníku ZEN 1. V závěru diplomové práce jsou uvedeny výpočty základních výkonových charakteristik vírníku.

Jako doplňující část diplomové práce jsem vytvořil internetové stránky www.letadloprome.webnode.cz, na nichž se nachází vícekriteriální rozhodování ve formátu [xlsx](#). Ve stejném formátu lze na těchto stránkách najít také výpočet přímých provozních nákladů vírníku. Cílem těchto internetových stránek je poskytnout potencionálním zájemcům maximálně zjednodušenou formu vícekriteriálního rozhodování při výběru vhodného letadla a výpočtu přímých provozních nákladů vírníku.

Cíle diplomové práce stanovené zadáním byly v plném rozsahu splněny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Zákonné vymezení kategorie podle vyhlášky 108/1997 Sb. § 24, odstavec 7*
[Online]. [Citace: 11. 3. 2014] Dostupný z WWW:
<http://www.laacr.cz/stranky/odbornosti/ultralehke-virniky/vymezeni-kategorie.aspx>
- [2] *Zákonné vymezení kategorie podle vyhlášky 108/1997 Sb. § 24, odstavec 8*
[Online]. [Citace: 11. 3. 2014] Dostupný z WWW:
<http://www.laacr.cz/stranky/odbornosti/ultralehke-vrtulniky/vymezeni-kategorie.aspx>
- [3] *Pilotáž vrtulniku* [Online]. [Citace: 11. 3. 2014] Dostupný z WWW:
<http://www.vrtulnik.cz/teorie/pilotaz.htm>
- [4] *HeliSport CH-7 Kompres: na oběd i na plovárnu s ULL vrtulníkem* [Online].
[Citace: 11. 3. 2014] Dostupný z WWW: <http://vztlak.net/Profily-a-testy/Vrtulniky/HeliSport-CH-7-Kompres-na-obed-i-na-plovarnu-s-ULL-vrtulnikem>
- [5] *Zákonné vymezení kategorie podle vyhlášky 108/1997 Sb. § 24, odstavec 5*
[Online]. [Citace: 11. 3. 2014] Dostupný z WWW:
<http://www.laacr.cz/stranky/odbornosti/ultralehke-letouny/vymezeni-kategorie.aspx>
- [6] *CH-7 KOMPRESS PILOT'S HANDBOOK* [Online]. [Citace: 11. 3. 2014] Dostupný z WWW: <http://www.kompress.fr/images/stories/pdf/en/pilots-manual.pdf>
- [7] *TL-2000 STING carbon Letová a provozní příručka* [Online]. [Citace: 12. 3. 2014]
Dostupný z WWW: <http://tl-ultralight.cz/content/download/soubory/sting-prirucka.pdf>
- [8] *Pojištění odpovědnosti za újmu způsobenou provozem SLZ (2014)* [Online].
[Citace: 26. 3. 2014] Dostupný z WWW:
<http://www.laacr.cz/Stranky/Sluzby/Pojisteni/pojisteni-odpovednosti-za-skody-zpusobene-provozem-slz-podle-narzizeni-785-2004.aspx>

- [9] *Zrušení poplatkové povinnosti za využívání rádiových kmitočtů pro leteckou pohyblivou službu při sportovní a rekreační činnosti* [Online]. [Citace: 30. 4. 2014]
Dostupný z WWW: <http://www.ctu.cz/aktuality/aktualni-informace.html?action=detail&ArticleId=8178>
- [10] Satarov A. Uproščenýj rasčot avtožira Uchtomskij vertoletnyj závod 1988
- [11] Gessow A. Myers G. Aerodinamika vertoleta GIOP Moskva 1954

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha	A	Vzorový dotazník
---------	---	------------------

Příloha A Vzorový dotazník

Dotazník

Tento dotazník poslouží k vyšší objektivnosti praktické části diplomové práce s názvem „Vícekritériální rozhodování při výběru vhodného letadla pro vybrané zákazníky“. Vyplněný formulář bude zpracován a výsledky zařazeny do praktické části diplomové práce.

Formulář se skládá ze dvou částí.

1. Určení vah skupinám kritérií a jednotlivým kritériím.
2. Dílčí ohodnocení variant.

Určení vah skupinám kritérií a jednotlivým kritériím

Pro skupiny kritérií a jednotlivá kritéria uvedená v tabulce I, se stanoví váhy těchto kritérií pomocí metody přímého stanovení vah kritérií. Při tom se použije přímá metoda bodové stupnice.

Postup metody

Jednotlivým kritériím přiřadíte body od 1 do 10. Kritérium, které je pro Vás nejvýznamnější, ohodnoťte číslem 10. Naopak kritérium, které je pro Vás nejméně významné, ohodnoťte číslem 1. Stejným způsobem ohodnoťte také skupiny kritérií.

Skupina kritérií	Počet bodů	Kritéria	Počet bodů
Ekonomická kritéria		Pořizovací cena	
		Provozní náklady	
		Náklady na výcvik	
Výkonnostní kritéria		Nepřekročitelná rychlost	
		Cestovní rychlost	
		Minimální rychlost	
		Dolet	
		Požadavky na VPD	
		Užitečná hmotnost	
		Spotřeba paliva	
		Boční složka větru	
		Zadní složka větru	
Manipulační kritéria		Možnost uskladnění (požadovaná plocha)	
Bezpečnostní kritéria		Náročnost provedení nouzových postupů při vysazení pohonné jednotky	
		Požadavky na místo pro nouzové přistání	
Kritéria komfortu letu		Výhled z pilotní kabiny	
		Šířka pilotní kabiny	
		Citlivost na povětrnostní podmínky	

Tab. A.1 Určení vah skupinám kritérií a jednotlivým kritériím (nenormované váhy)

Dílčí ohodnocení variant (DOV)

Stanovte dílčí ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím uvedených v tabulce II.

Postup metody

Na základě svých preferencí, přiřaďte důsledkům variant body ze zvolené bodové stupnice. Použijte desetibodovou stupnici, přičemž nejnižší ohodnocení (1 bod) odpovídá nejhorším hodnotám a naopak nejvyšší ohodnocení (10 bodů) odpovídá nejlepším hodnotám.

Skupina kritérií	Kritéria	Vrtulník Ch-7 Kompress	DOV	Vírník ZEN 1	DOV	Letoun TL-2000 STING	DOV
Ekonomická kritéria	Pořizovací cena	3 250 000 Kč		1 575 500 Kč		1 471 000 Kč	
	Provozní náklady	1 800 Kč/h		969 Kč/h		865 Kč/h	
	Náklady na výcvik	204 000 Kč		75 000 Kč		50 000 Kč	
Výkonnostní kritéria	Nepřekročitelná rychlost	193 km/h		210 km/h		290 km/h	
	Cestovní rychlost	160 km/h		140 km/h		200 km/h	
	Minimální rychlost	0 km/h		30 km/h		80 km/h	
	Dolet	337 km		594 km		755 km	
	Požadavky na VPD	30 x 30 m		min. 150 m		min. 150 m	
	Užitečná hmotnost	170 kg		165 kg		122 kg	
	Spotřeba paliva	19 l/h		20 l/h		18 l/h	
	Boční složka větru	7,7 m/s		8,3 m/s		3 m/s	
	Zadní složka větru	7,7 m/s		2,8 m/s		1 m/s	
Manipulační kritéria	Možnost uskladnění (Požadovaná plocha)	10,95 m ²		18,48 m ²		34,53 m ²	
Bezpečnostní kritéria	Náročnost provedení nouzových postupů při vysazení pohonné jednotky	vysoká		malá		střední	
	Požadavky na místo pro nouzové přistání	malé		střední		vysoké	
Kritéria komfortu letu	Výhled z pilotní kabiny	vynikající		velmi dobrý		dobrý	
	Šířka pilotní kabiny	0,8 m		1,25 m		1,12 m	
	Citlivost na povětrnostní podmínky	střední		malá		vysoká	

Tab. A.2 Dílčí ohodnocení variant



Obr. A.1 Vírnik ZEN 1



Obr. A.2 Letoun TL-2000 STING



Obr. A.3 Vrtulník CH-7 Kompress